

УДК 624.138.4
№ госрегистрации 01070011515
Инв №

Министерство образования и науки Украины
Харьковская национальная академия городского хозяйства
61002, Харьков, ХНАМГ, ул. Революции, 12, тел. 8-057-707-32-52

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по научной работе
проф., канд. архит. _____ В.Т.Семёнов
«_____» _____ 2007 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
Геотехнічне супроводження реконструкції основ та фундаментів. Будівництво
підземних конструкцій в складних ґрунтових умовах
ПЕНЕТРАЦІЙНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПИЛУВАТО-ГЛИНИСТИХ ҐРУНТІВ
(промежуточный)

Декан ГС факультета
проф., к.т.н.

подпись

Н.П.Бурак

«_____» _____ 2007 г.

Начальник научно-исследовательского
сектора, проф., к.т.н.

подпись

М.С.Золотов

«_____» _____ 2007 г.

Зав. Кафедрой механики грунтов,
Фундаментов и инженерной
Геологии, проф., д.т.н.

подпись

В.Г.Таранов

2007

СПИСОК АВТОРОВ

Руководитель НИР,
зав. кафедрой
д-р техн. наук, профессор

Таранов В.Г.
(реферат, введение,
разд.4)

Доцент, канд. техн. наук

Бронжаев М.Ф.
(разд. 1)

Ст..преп.

Гаврилюк О.В.
(разд.2)

Доцент, канд. техн. наук

Мишурова Т.В.
(разд. 1)

Канд.техн.наук, профессор

Рудь А.Г.
(разд.3)

Аспирант

Набока А.А.
(разд. 4)

Реферат

Отчёт о НИР: 71 с., 26 рис., 8 табл., 31 источников.

Р1. Впервые установлены фазовый состав и общая схема реакции образования силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей по всему диапазону. Так же впервые исследовано изменение свойств силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей с учетом влияния температуры их образования.

Р2. Рассмотрены условия формирования и химический состав подземных вод верхнего гидрогеологического этажа г. Харькова.

Р3. Рассмотрено влияние различных факторов на состояние слабых глинистых грунтов на примере пойменных отложений. Показано влияние глубины залегания грунта на его прочность, определена величина развития структурных связей в естественном сложении этих грунтов, сопоставлены значения прочностных характеристик слабого грунта (супеси) при водонасыщении.

Р4. Рассмотрены технологии изготовления грунтоцементных свай, методы их расчетов при статических и динамических воздействиях. Кроме того, изучен вопрос применения программных продуктов при решении задач усиления грунтовых массивов.

Содержание

	Стр.
Перечень условных обозначений, символов, единиц, сокращений и терминов	5
1. Исследование закрепляемости грунтов в условиях производственных загрязнений кислыми силикатами	6
1.1. Влияние температуры на основные параметры образования силикатно-калиевых гелей	8
1.2. Фазовый состав силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей	11
1.3. Сравнительные исследования составляющих компонентов химического состава силикатно-калиевых и силикатно-натриевых гелей	20
Выводы	25
Литература	26
2. Умови формування верхнього гідрогеологічного поперху харківської міської агломерації	27
Литература	39
3. Дослідження слабких ґрунтів у будівельних цілях	40
Литература	45
4. Технология, методы исследования и расчета грунтоцементных свай (эксперимент)	46
Выводы	70
Литература	71

Перечень условных обозначений, символов, единиц, сокращений и терминов

t_g - время начала гелеобразования;

ИК - инфракрасно-спектроскопический анализ;

РФ – рентгенофазовый анализ;

СН - синерезис геля;

$R_{сж}$ - предел прочности при одноосном сжатии;

рН – концентрация водородных ионов (водородный показатель);

К/С - объемные соотношения исходных компонентов (кислоты к силикату).

1. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКРЕПЛЯЕМОСТИ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ КИСЛЫМИ СИЛИКАТАМИ

Развитие экономического потенциала Украины тесно связано с необходимостью поиска наиболее эффективных технологических решений во всех сферах жизнедеятельности. Существенное место в области строительства и эксплуатации зданий и сооружений занимают вопросы совершенствования фундаментостроения, улучшения природных свойств грунтовых оснований, развития методов восстановления эксплуатационной пригодности грунтово-водной среды после деструктивного влияния техногенных факторов.

Влияние техногенных химически активных загрязнений на эксплуатируемые системы «здание-фундамент-основание» широко известно с точки зрения создания аварийных ситуаций и загрязнения грунтово-водной среды.

Многими авторами исследован характер влияния химически активных растворов на физическое состояние и строительные свойства грунтов. В подавляющем большинстве случаев это приводит к их химическому набуханию, последующим недопустимым деформациям основания, перемещениям фундаментов и разрушению строительных конструкций.

Современный уровень подхода к решению любых технических задач требует обязательного учета влияния предложенных решений на изменение экологического состояния окружающей среды. Эта сторона в последние десятилетия приобретает все большее значение для урбанизированных территорий в связи с увеличением доли химической составляющей техногенеза в крупных промышленных центрах.

Дальнейшему повышению качества выполнения восстановительных работ существенно способствует учёт влияния температуры окружающей среды на процесс образования силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей.

Наиболее значимый рост времени образования кислых гелей происходит при температуре ниже 10-12°C. При этом более чувствительными к изменению температуры оказываются гели с наибольшим исходным (при 20°C) значением времени начала гелеобразования. При осуществлении химического закрепления в сложных инженерно-геологических условиях, которыми без сомнения являются грунты загрязненные промышленными стоками, учет влияния температуры образования силикагеля на общие результаты закрепления представляется весьма значимым.

Увеличить величину проектного радиуса и однородность закрепления без снижения прочностных параметров позволяет меньшая вязкость растворов силиката калия (на 20-26 %), в сравнении с равными по плотности растворами силиката натрия, а также благодаря возможности снижения используемой плотности силиката калия.

Для объяснения причин повышенной прочности силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей выполнены исследования их фазового состава с использованием рентгеноструктурного и ИК-спектроскопического анализов. Результаты исследований позволили получить теоретическое уравнение образования силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей в общей форме (по всему диапазону гелеобразования). Впервые достаточно широко раскрыт весь спектр многообразия солевых образований для различных составов силикатно-калиево-фосфорнокислых закрепляющих растворов, видов образующейся кремнекислоты и их влияния на такие основные параметры как прочность и плотность стабилизированного грунта.

1.1. Влияние температуры на основные параметры образования силикатно-калиевых гелей

Исследованы две группы образцов кислых силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей, каждая из которых включала по четыре состава, соответствующие величинам времени начала гелеобразования $t_r \approx 1, 10, 45$ и 80 мин. (при температуре образования гелей 20°C). Одна группа образцов отличалась от другой плотностью исходного раствора силиката калия. Так первая группа образцов (I) изготавливалась при плотности силиката $1,09 \text{ г/см}^3$, а вторая (II) при $1,16 \text{ г/см}^3$. В процессе исследований определялись величины времени начала гелеобразования при различных значениях температуры окружающей среды ($5, 10, 15$ и 20°C). На основании полученных опытных данных построены графики рис. 1.1.1 и рис. 1.1.2.

Из полученных графиков видно, что с понижением температуры окружающей среды время начала гелеобразования увеличивается по гиперболическому закону. При изменении температуры на 5°C разница времени гелеобразования составляет от 20 до 200% и более.

Результаты опытных данных аппроксимированы уравнениями для I-й группы образцов:

$$\text{№ 1} \quad t_2 = \frac{32,75}{T^\circ - 4,2037}; \quad (1.1.1)$$

$$\text{№ 2} \quad t_2 = \frac{171,3}{T^\circ - 2,5202}; \quad (1.1.2)$$

$$\text{№ 3} \quad t_2 = \frac{796,3}{T^\circ + 0,10877}; \quad (1.1.3)$$

$$\text{№ 4} \quad t_2 = 0,38461 + \frac{1472,3}{T^\circ}; \quad (1.1.4)$$

для II-й группы образцов:

$$\text{№ 1} \quad t_2 = \frac{26,27}{T^\circ - 4,2828}; \quad (1.1.5)$$

$$t_z = \frac{179,5}{T^\circ - 1,9721}; \quad (1.1.6)$$

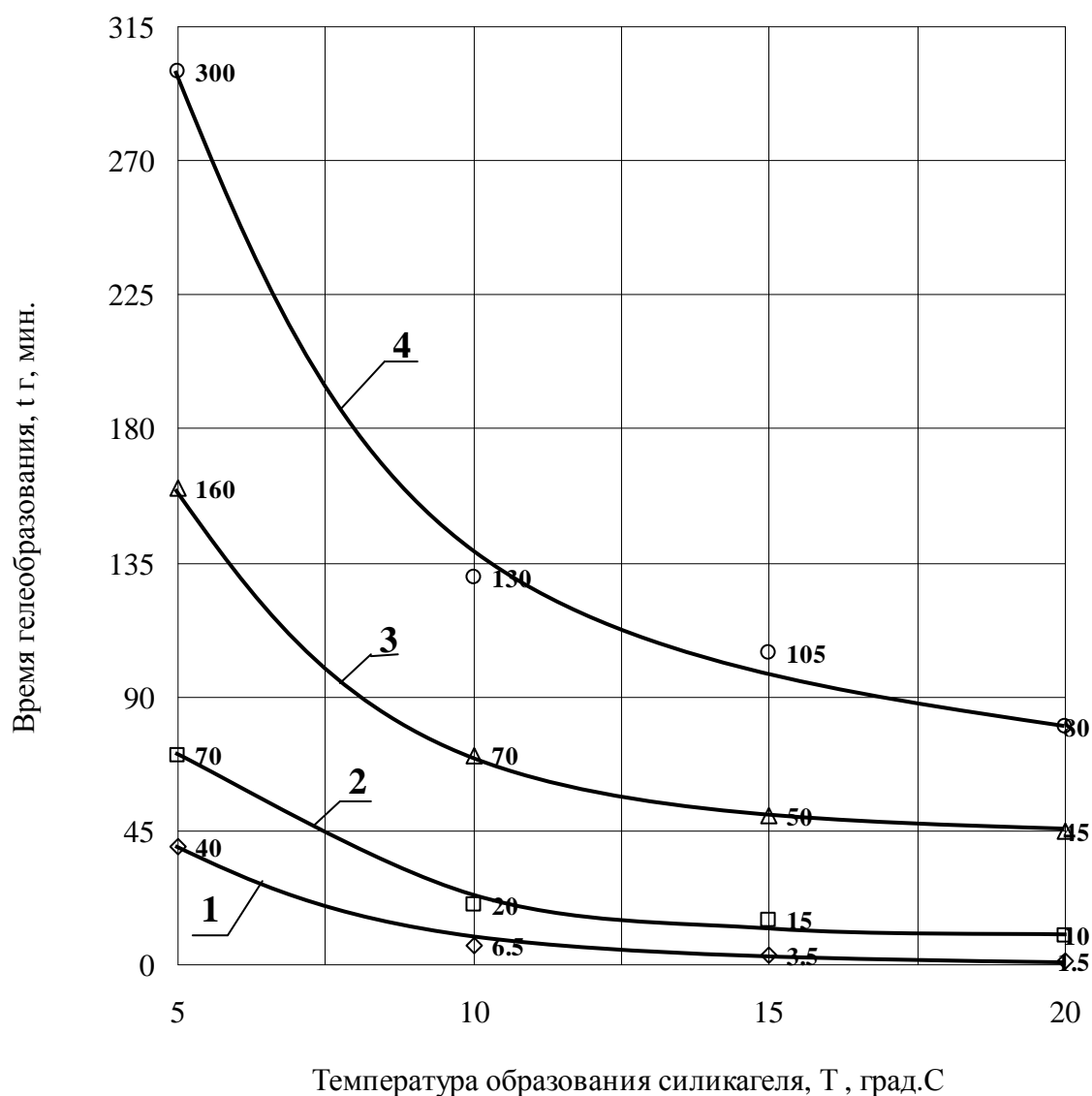


Рис. 1.1.1. Зависимости времени начала образования кислых силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей от температуры окружающей среды для составов с временем начала гелеобразования (при 20°C), равным: 1 – 1 мин.; 2 – то же – 10 мин.; 3 – то же – 45 мин.; 4 – то же – 80 мин. При исходной плотности раствора силиката калия 1,09 г/см³.

$$\text{№ 3} \quad t_z = \frac{795,8}{T^\circ + 0,34351}; \quad (1.1.7)$$

$$\text{№ 4} \quad t_z = 9,7436 + \frac{1298,5}{T^\circ}; \quad (1.1.8)$$

где T° - значение температуры образования геля, град. С.

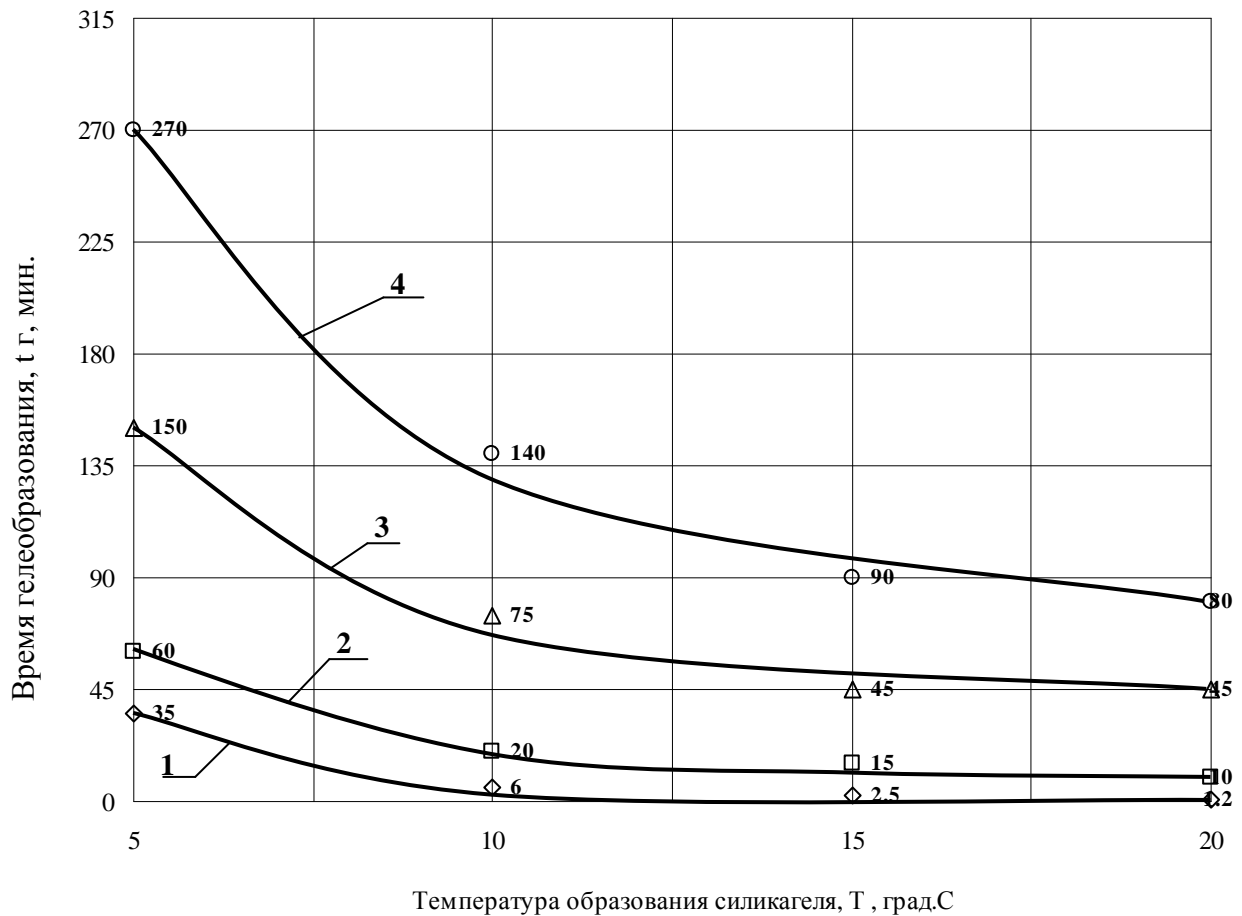


Рис. 1.1.2. Зависимости времени начала образования кислых силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей от температуры окружающей среды для составов с временем начала гелеобразования (при 20°C), равным: 1 – 1 мин.; 2 – то же – 10 мин.; 3 – то же – 45 мин.; 4 – то же – 80 мин. При исходной плотности раствора силиката калия 1,16 г/см³.

Из полученных данных следует, что учет температуры образования геля имеет существенное значение при расчете параметров химического закрепления грунтов.

1.2. Фазовый состав силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей

Химический состав силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей, используемых в химическом закреплении грунтов и имеющих ряд преимуществ перед силикатно-натриево-фосфорнокислыми, практически не исследован.

подавляющее большинство авторов приводят неполные сведения о химическом составе силикатных гелей, используемых при закреплении грунтов, основываясь только на аналитических методах исследований. Современные физико-химические методы исследований, такие как рентгенофазовый и ИК-спектроскопический посвящены гелям только на основе силиката натрия.

В настоящей работе изучен фазовый состав силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей, образованных при различных объемных соотношениях исходных компонентов. Всего исследовано шесть видов гелей, положение которых в общей картине гелеобразования отмечено точками 1-6 на рис. 1.2.1. Образцы № 1-3 принадлежат к щелочным гелям, а № 4-6 к кислым.

Исходные параметры исследованных силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей показаны в табл 1.2.1

Технология изготовления проб для рентгенофазовых и ИК-спектроскопических исследований, методы, оборудование и материалы применялась следующая.

Состав силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей изучен методами рентгенофазового и инфракрасно-спектроскопического анализов. Опытные образцы гелей получены на основе растворов силиката калия и ортофосфорной кислоты плотностью 1,09 и 1,025 г/см³, соответственно.

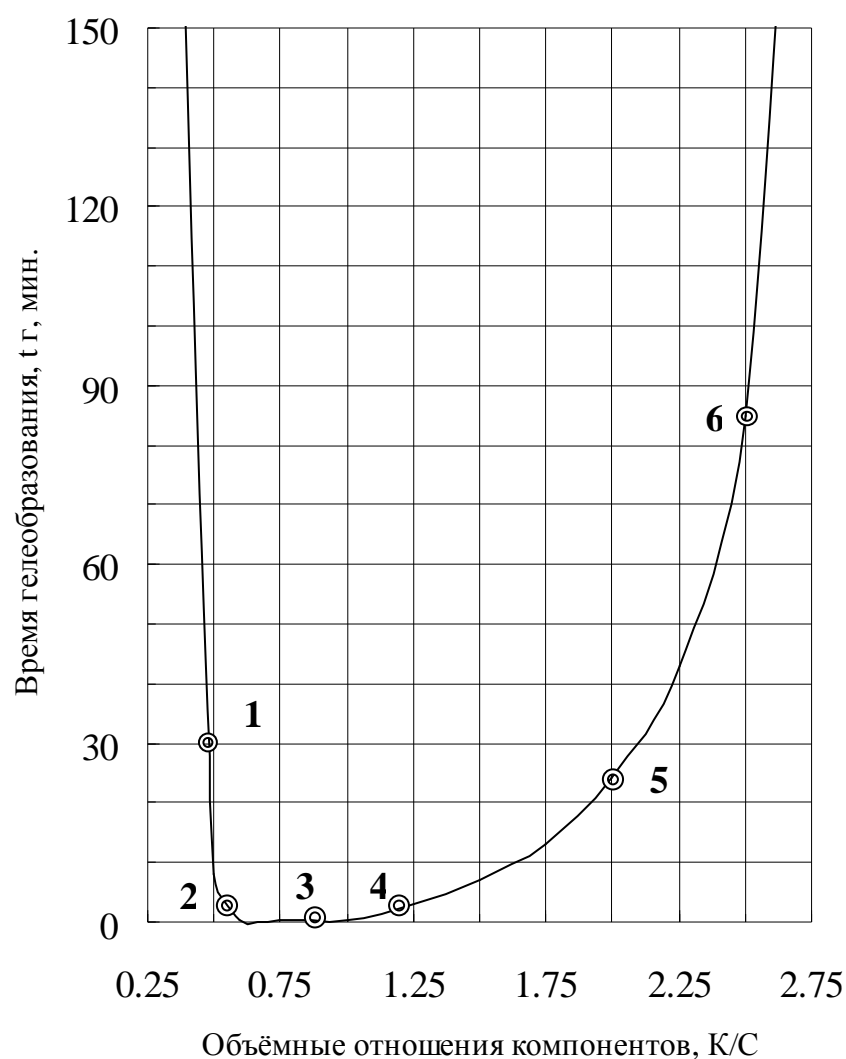


Рис. 1.2.1. Расположение проб силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей на кривой зависимости $t_g = f(K/C)$ при определении их фазового состава.

Силикагели хранились в естественной гелеобразующей среде с сохранением постоянного температурно-влажностного режима. Пробы готовили методом "холодной" сушки "калиевых" силикагелей в ацетоне, в 28-суточном возрасте. Температура сушки образцов изменялась в пределах 15-40°C. Количество исследованных проб одного и того же состава равнялось 5.

Анализы РФ и ИК осуществлялись с помощью прибора ДРОН-3М и инфракрасного спектрофотометра Spekord-85М. Определение фазового состава методом ИК-спектроскопии осуществлялось по методу таблеток (внутренний стандарт

- бромистый калий). Режим съемки: $V_{\text{start}} - 4000 \text{ см}^{-1}$; $V_{\text{stop}} - 400 \text{ см}^{-1}$; SLiT - 12; JT - 1; Zero ADJ – 100 (%T); Exp Y - 100 (%T); Exp X - 1.

Структуру и температуру образцов "калиевых" силикагелей изучали на бинокулярном микроскопе МБМ - 2.

Гели № 1-6 исследованы методом РФА (рентгено-фазовый анализ), а № 3-6 в комплексе с методом ИКС (инфракрасной спектроскопии). Все исследования проводились сравнительным методом. В качестве эталона сравнения был взят исходный силикат калия.

Таблица 1.2.1

Параметры проб силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей для физико-химических исследований.

№ состава	Вид силикатного геля	Значения водородного показателя pH	Объемные соотношения исходных компонентов, К/С	Время начала гелеобразования, t_r , мин.	Синерезис геля, СН, %	Предел прочности при одноосном сжатии, $R_{сж}$, кПа
1	Щелочной	11,3	0,4	120	1	2,0
2		11,0	0,5	60	12	15,0
3		9,2	0,75	5	40	455,0
4	Кислый	6,9	1,1	0,5	16	24,0
5		6,7	3,5	10	9	11,5
6		5,4	4,5	90	1	5,5

Результаты рентгенофазового анализа показывают, что исходный компонент - силикат калия, представлен в основном дисиликатом калия $K_2Si_2O_5$. Кроме того, отмечено присутствие небольшого количества гидротетрасиликата калия $KHSi_2O_5$.

В составе геля образца № 1 идентифицированы дисиликат $K_2Si_2O_5$ и β - SiO_2 . Присутствует трехводный гидроортофосфат калия. Отмечены следы гидротетрасиликата $KHSi_2O_5$.

Гель образца № 2 содержит в основном дисиликат калия, трехводный ортофосфат $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$ и β - SiO_2 . Отмечено присутствие безводного гидроортофосфата калия K_2HPO_4 и следы гидротетрасиликата $KHSi_2O_5$.

Гель состава № 3 представлен в основном β - SiO_2 , гидроортофосфатом K_2HPO_4 , отмечено присутствие безводного ортофосфата K_3PO_4 . В пробах состава № 3 не выявлен гидротетрасиликат калия. Это связано с высоким процентом нейтрализации исследуемых образцов.

В геле состава № 4 определены гидратированные и безводные формы ортофосфатов калия: $K_2H_2P_2O_5$, $K_3PO_4 \cdot 1,5H_2O$, K_3PO_4 , K_2HPO_4 . Присутствует безводный метасиликат калия α - K_2SiO_3 . Слабо прослеживаются следы α - SiO_2 .

В составе образца № 5 идентифицирован α - SiO_2 . Выявлены трехводный ортофосфат калия $K_3PO_4 \cdot 3H_2O$, гидроортофосфаты KH_2PO_4 , KH_2PO_3 , отмечены следы $K_2H_2P_2O_5$. Присутствует безводный гидрметасиликат калия - $(KHSiO_3)_x$.

Силикатно-калиево-фосфорнокислый гель состава № 6 представлен в основном гидратированными формами ортофосфатов калия - $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$, $K_3PO_4 \cdot 7H_2O$ и α - SiO_2 . В составе имеются следы дигидроортофосфата KH_2PO_4 и гидрметасиликата калия $(KHSiO_3)_x$.

Результаты рентгенофазовых исследований силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей приведены в сводной табл. 1.2.2.

Таблица 1.2.2. Данные рентгенографического анализа силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей составов № 1-6

№ состава	Идентифицированные соединения	Межплоскостные расстояния, Å
1	$K_2Si_2O_5$	3.81, 2.96, 9.00, 3.94, 3.04, 2.89
	β - SiO_2	3.32, 4.26, 1.81, 2.45, 2.28
	$K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$	2.73, 4.84, 3.39, 5.17, 3.46, 2.54
	$KHSi_2O_5$ (следы)	3.66, 2.88, 1.81, 4.13, 3.80, 2.02
2	$K_2Si_2O_5$	3.81, 2.96, 9.00, 3.94, 3.04, 2.89
	β - SiO_2	3.40, 2.18, 1.59, 2.31
	$K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$	2.73, 4.84, 3.39, 5.17, 3.46, 2.54
	K_2HPO_4	2.97, 3.04, 2.95, 4.25, 2.44, 2.74
	$KHSi_2O_5$ (следы)	3.66, 2.88, 1.81, 4.13, 3.80, 2.02
3	β - SiO_2	3.42, 2.19, 1.58

	K_2HPO_4	2.97, 3.04, 2.95, 4.25, 2.44, 2.74
	K_3PO_4	2.87, 1.65, 2.02, 4.69, 1.43, 1.28
	$K_2Si_2O_5$ (следы)	3.81, 2.96, 9.00, 3.94, 3.04, 2.89
4	$K_3PO_4 \cdot 1,5H_2O$	2.95, 2.74, 2.69, 6.22, 2.78, 2.31
	K_3PO_4	2.86, 2.03, 2.36, 2.54, 2.33, 2.81
	$K_2H_2P_2O_5$	3.13, 3.66, 2.31, 2.15, 3.46
	$\alpha-K_2SiO_3$	2.75, 2.65, 3.21
	K_2HPO_4	2.97, 3.04, 2.95, 4.25, 2.44, 2.74
	$\alpha-SiO_2$ (следы)	3.40, 4.36, 2.51, 4.04, 2.83, 3.16
5	$\alpha-SiO_2$	3.40, 4.36, 2.51, 4.04, 2.83, 3.16
	$K_3PO_4 \cdot 3H_2O$	2.70, 2.61, 2.91, 1.85, 3.72, 2.25
	KH_2PO_4	3.72, 2.91, 1.95, 4.25
	KH_2PO_3	3.45, 3.58, 3.30, 2.80, 2.25, 2.14
	$(KHSiO_3)_x$	3.05, 3.37, 3.14, 2.85, 3.71, 1.75
	$K_2H_2P_2O_5$ (следы)	3.13, 3.66, 2.31, 2.15, 3.46
6	$K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$	2.73, 4.84, 3.39, 5.17, 3.46, 2.54
	$K_3PO_4 \cdot 7H_2O$	2.74, 5.43, 3.04, 5.43, 2.38
	$\alpha-SiO_2$	3.36, 4.26, 1.82, 2.48, 2.28, 2.24
	KH_2PO_3	3.45, 3.58, 3.30, 2.80, 2.25, 2.14
	KH_2PO_4 (следы)	3.72, 2.91, 1.95, 4,25
	$(KHSiO_3)_x$ (следы)	3.05, 3.37, 3.14, 2.85, 3.71, 1.75

Продолжение 1.2.2

Примечание:

В пределах отдельных изученных составов идентифицированные соединения расположены по порядку наибольшей очевидности их присутствия.

Анализ химического состава с учетом оптических и физических исследований "калиевых" гелей показал, что силикатный гель состава № 1 представляет собой рыхлый, непрозрачный, не обладающий механической прочностью аморфный осадок. Этот осадок не имеет разветвленных пространственных структурных связей и полимерных цепочек кремнекислоты. Он состоит из рыхлых, расположенных отдельно агрегатов, разделенных водными пленками. Подобное состояние геля, возможно, связано с наличием SiO_2 в β -форме.

Гель состава № 2 также имеет весьма малую плотность и прочность. Состоит из рыхлых агрегатов β -SiO₂. Щелочные гели составов № 1 и № 2 непрозрачны, имеют матовый цвет с кремово-коричневым оттенком.

Прозрачность гелей возрастает от состава № 3 к составу № 6, что связано с плотностью, степенью гидратации и структурными особенностями.

Очень высокую плотность сложения имеет щелочной гель состава № 3, который характерен отсутствием дисиликата калия и высоким содержанием β -SiO₂. Величина синерезиса геля достигает 60 %. Гель имеет однородную микроагрегатную структуру. При старении силиказоля появляются новообразования с четко выраженной ориентацией.

В пробах состава № 4 отмечен переход силиката калия в форму гидрометасиликата - (KHSiO₃)_x и кремневой кислоты в α -форму с пространственной структурой и гидрофильными свойствами.

Гели составов № 4, 5 и 6 характерны кислой реакцией, образованием пространственных полимеризационных цепочек кремневой кислоты в α -форме по всему объему и гидрофильностью.

С увеличением кислотности гелеобразующей среды отмечен рост степени гидратации ортофосфатов, плотность сложения гелей при этом снижается, пористость и прозрачность возрастают. Механическая прочность кислых гелей находится в обратной зависимости от содержания свободного SiO₂ и в прямой зависимости от содержания ортофосфатов.

Сопоставление фактов различной механической прочности кислых силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей (рис. 1.2.1), при их практически равной плотности (рис. 1.2.2), приводит к выводу о наличии структурных отличий, что подтверждается оптическими наблюдениями и совпадает с состоянием силикатно-натриевых гелей. На величину механической прочности силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей влияет также степень гидратации ортофосфатов, что ясно прослеживается при сравнении данных в табл. 1.4.

В поликонденсационных процессах структурообразования гелей составов № 1, 2 и 3 участвуют соли дикремниевой кислоты, т.к. в составе присутствуют дисиликаты калия. Степень гидратации дикремниевых кислот существенно меньше, чем метакремниевых. В образовавшихся полимерных структурах на базе дисиликатов имеют приоритетное влияние более сильные силоксановые связи O-Si-O над связями типа Si-OH. Это приводит к сильному объемному сжатию под действием

межмолекулярных сил, что выражено в большей величине синерезиса гелей составов № 1-3 в сравнении с синерезисом гелей составов № 4-6.

Данные ИК-спектроскопических исследований в основном подтверждают результаты, полученные путем РФА. Инфракрасный спектр проб состава № 3 представлен интенсивными полосами поглощения, форма спектра указывает на присутствие в пробе веществ, находящихся как в аморфном состоянии, так и в кристаллическом. Наличие интенсивных полос поглощения при 465, 505, 7790, 820, 1085, 1100 см^{-1} указывает на наличие SiO_2 в переходном ($\alpha \leftrightarrow \beta$) состоянии, поскольку дублет сглажен.

В пробе состава № 4 уверенно прослеживаются полосы поглощения 465, 505, 795-810, 1090, 1100 см^{-1} , что указывает на α -кварц. Присутствуют фосфат ионы PO_4^{3-} и гидрофосфат ионы HPO_4^{2-} (полосы 503, 560, 606, 681, 769, 863, 1028, 1106, 1154, 1277, 1292).

Группу полос пробы состава № 5 - 540, 910, 1100, 1300 можно отнести к дигидроортофосфату калия - KH_2PO_4 . Идентифицируются α - SiO_2 и фосфат ионы PO_4^{3-} и KPO_3^{2-} . Полосы поглощения (3455, 3385, 3250, 3140, 3100 см^{-1}), отмеченные в гелях состава № 5, соответствуют колебаниям ОН молекул кристаллизационной воды, которые участвуют в слабых и средней силы водородных связях. Уверенно идентифицируются соединения - $(\text{KPO}_4)_n$, KH_2PO_4 , $\text{K}_3\text{PO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, ионы PO_4^{3-} и $\text{H}_2\text{PO}_4^{3-}$.

В составе № 6, кроме фосфат ионов PO_4^{3-} , дигидрофосфат ионов H_2PO_4^- определены гидрофосфат ионы $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$. Предположительно $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ - 520, 610, 857, 857, 878, 964, 985, 1085, 1130, 1225, 1640, 3430. Также присутствует α - SiO_2 .

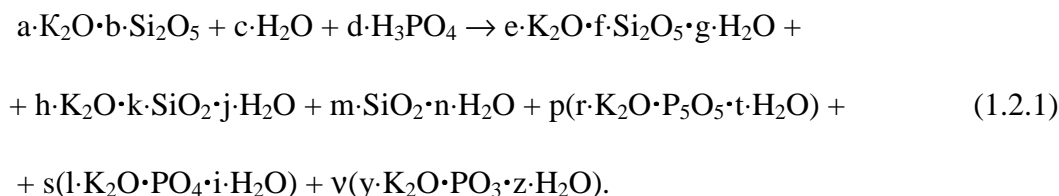
Полоса в виде дублета с максимумом при 1625-1645 см^{-1} свидетельствует о наличии кристаллизационной воды (деформационные колебания Н-О-Н), т.е. молекул воды связанных в кристаллизационной решетке связями - водородными с анионом, либо слабыми координационными с металлом. В интервале 3044-3550 см^{-1} , соответствующие колебаниям ν ОН молекул кристаллизационной воды, которые участвуют в слабых и средней силы водородных связях.

Ярко выраженные в пробах составов № 5 и 6 полосы 1070-1080 см^{-1} , соответствуют колебаниям ионов ОН в группах Si-O-H и вызваны поликонденсацией гидратированных ионов HSiO_4^{3-} , H_3SiO_4^- , $\text{H}_4\text{SiO}_4 \cdot \text{aq}$ в сильно разбавленном растворе жидкого стекла - $(\text{KHSiO}_3)_x$. Все формы кремнекислоты представлены в виде $\text{H}_4\text{SiO}_4 \cdot \text{aq}$. В этих же пробах определена полоса поглощения 840 и 1210 см^{-1} , соответствующая

связям Si-O в группах SiO₄. Этому интервалу соответствует область интенсивного поглощения тетраэдров SiO₄.

Для изолированных тетраэдров - 800-1050 см⁻¹.

На основании физико-химических исследований, схема образования силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей может быть представлена следующим уравнением:



Таким образом, проведенные физико-химические исследования выявили отличия в фазовом составе силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей при различных объемных соотношениях исходных компонентов (К/С) и позволили установить известную схему гелеобразования. Подтвержден вывод о том, что солевое присутствие в гелях количественно связано с величиной их механической прочности при сжатии. Более широкий спектр солевых образований в "калиевых" гелях (в сравнении с "натриевыми") объясняет их повышенную величину прочности.

В области кислых гелей интенсивность изменения прочности при сжатии силикатно-калиевых гелей в зависимости от времени начала гелеобразования носит в значительной степени более спокойный характер (рис. 1.2.2), чем это наблюдается у силикатно-натриево-фосфорнокислых гелей.

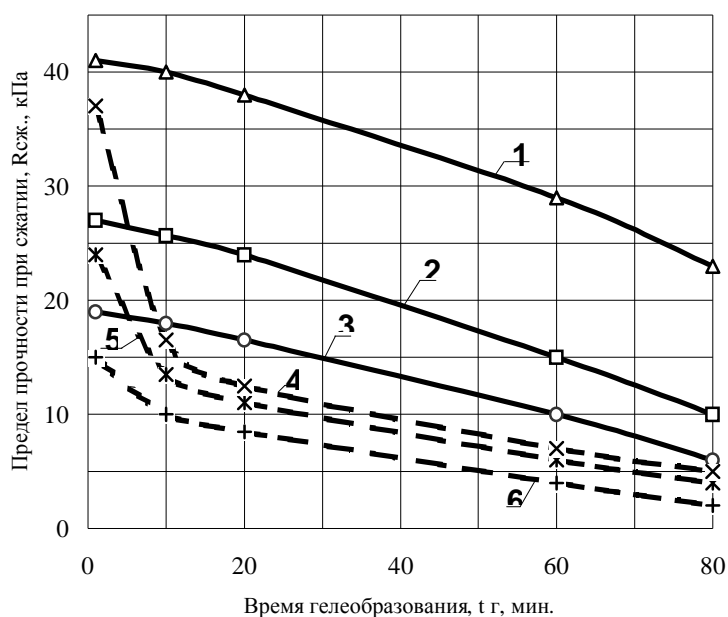


Рис. 1.2.2. Зависимости пределов прочности при сжатии гелей, образованных на основе силиката калия: 1 – при плотности раствора силиката 1,27 г/см³; 2 – 1,19 г/см³; 3 – 1,09 г/см³. То же на основе силиката натрия: 4 – при плотности раствора силиката 1,27 г/см³; 5 – 1,19 г/см³; 6 – 1,09 г/см³.

Сказанное означает, что у силикатно-калиевых гелей (в интервале $t_r = 0-10$ мин.) не происходит такого же резкого изменения характера физико-химических процессов, как у силикатно-натриевых. Щелочные силикатно-калиево-фосфорнокислые гели составов №1 и 2 не рекомендуются к использованию при химическом закреплении грунтов, так как практически не обладают необходимой структурной прочностью, а малый объем выхода геля не позволит использовать эти составы для полной кольматации грунтовых пор при устройстве противифльтрационных завес, экранов либо барьерных стенок.

1.3. Сравнительные исследования составляющих компонентов химического состава силикатно-калиевых и силикатно-натриевых гелей

Для сравнения составляющих компонентов химического состава силикатно-калиевых и силикатно-натриевых гелей выполнено исследование фазового состава гелей образованных на основе силиката натрия исходной плотностью 1,09 г/см³, поскольку в опубликованных источниках приводятся ориентировочные данные, полученные без применения комплекса физико-химических методов анализа.

Силикатно-натриевые гели изучены методами рентгенофазового и инфракрасно-спектроскопического анализов. Опытные образцы гелей получены на основе растворов силиката и ортофосфорной кислоты плотностью 1,09 и 1,025 г/см³, соответственно. Изучено шесть типов силикатных гелей. Краткие характеристики гелей приведены в табл. 1.3.1.

Таблица 1.3.1 Характеристики силикатно-натриевых гелей

Номер образца силикатного геля	Характеристика геля по кислотности / щелочности	Время начала гелеобразования, t_r , мин	Объемные соотношения исходных компонентов, К/С	Водородный показатель гелеобразующей среды, pH
1	щелочные	30	0,45	11,2
2		2	0,62	11,0
3		0,5	0,78	9,3
4	кислотные	1,5	1,2	6,9
5		23	2,0	6,6
6		80	2,5	6,0

Хранение гелей осуществлялось в естественной гелеобразующей среде с сохранением постоянного температурно-влажностного режима. Пробы готовили методом "холодной" сушки силикагелей в ацетоне, в 28-суточном возрасте.

Температура сушки образцов изменялась в пределах 15-40°C. Количество исследованных проб одного и того же состава равнялось 5.

Анализы РК и ИК осуществлялись с помощью прибора ДРОН-3М и инфракрасного спектрофотометра Spekord-85M. Определение фазового состава методом ИК-спектроскопии осуществлялось по методу таблеток (внутренний стандарт - бромистый калий). Режим съемки: V_{start} - 4000 см^{-1} ; V_{stop} - 400 см^{-1} ; SLiT - 12; JT - 1; Zero ADJ – 100 (%T); Exp Y - 100 (%T); Exp X-1.

Исследованы гели как щелочные, так и кислотные. Всего образцов исследовано шесть.

Все образцы исследованы методом рентгено-фазового анализа (РФА), а образцы № 3 и № 4 - в комплексе с методом инфракрасной спектроскопии (ИКС). Все исследования проводились сравнительным методом. В качестве эталона сравнения был взят исходный силикат натрия. Все пробы были подвергнуты также и петрографическому анализу.

Исходный компонент - силикат натрия, представлен в основном восьмиводным метасиликатом $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Помимо этого, отмечено также и присутствие небольшого количества безводного Na_2SiO_3 .

Силикагель состава № 1 представлен в основном $\gamma\text{-Na}_3\text{PO}_4$ дигидроортофосфатом натрия и кристаллическим кварцем. В составе присутствует сильно обводнённый гидроортофосфат натрия, а также отмечены следы присутствия безводного метасиликата Na_2SiO_3 .

Силикагель состава №2 в основном содержит обводнённый дигидроортофосфат натрия. Наблюдается присутствие различных ортофосфатов содержащих ион $(\text{PO}_3)_4$ и присутствие кристаллического $\alpha\text{-SiO}_2$. В составе имеются следы $\gamma\text{-Na}_3\text{PO}_4$ и безводного метасиликата Na_2SiO_3 .

В силикагеле состава № 3 идентифицируются: гидроортофосфат натрия Na_2HPO_4 и, в меньшей степени, дигидроортофосфат $\text{Na}_2\text{H}_2(\text{PO}_3)_4$. Отмечены следы безводного метасиликата Na_2SiO_3 .

Силикагель состава № 4 состоит в основном из гидроортофосфата натрия Na_2HPO_4 , отмечены следы девятиводного метасиликата натрия $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ и присутствие кристаллического $\beta\text{-SiO}_2$.

Силикагель состава № 5 в основном содержит гидроортофосфат натрия отмечено присутствие девятиводного метасиликата натрия $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ и δ -дисиликата натрия. Имеются следы $\beta\text{-SiO}_2$.

Силикагель состава № 6 представлен в основном шести водным мета силикатом натрия, в меньшей степени $\alpha\text{-Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$. Присутствует также семи водный гидроортофосфат натрия, имеются следы ортофосфатов $\alpha\text{-Na}_3\text{PO}_4$, $\beta\text{-Na}_3\text{PO}_4$ и $\beta\text{-SiO}_2$.

Силикагель состава № 4 не может иметь практического использования при химическом закреплении грунтов из-за весьма малой величины времени начала гелеобразования, а выполнялся и исследовался для наблюдения связи между щелочными и кислыми гелями, которые могут быть использованы для вышеназванных целей.

Наибольшую величину предела прочности при сжатии среди кислых гелей имеют гели состава № 3.

В гелях состава № 3 преобладают безводные формы ортофосфатов, причем в основном это соли, содержащие одну молекулу водорода. Степень гидратации ортофосфатов увеличивается наряду с ростом степени кислотности гелеобразующей среды и времени начала гелеобразования. Соответственно снижаются величины плотности и механической прочности гелей (составы №1 и №2). Гели, имеющие меньший предел прочности при сжатии, отличаются большим содержанием свободного SiO_2 .

Образец состава №3, обладает наибольшей механической прочностью, плотностью в области кислых гелей и наименьшим содержанием SiO_2 , из чего можно сделать вывод о наличии в данном составе весьма малого количества геля кремневой кислоты, но наличии в основном фосфорсодержащих гелей. Состав №3 весьма близок к границе раздела кислых и щелочных гелей. В кислых гелях SiO_2 присутствует в α -форме, а в щелочных – в β -форме.

Различная механическая прочность кислых гелей при их практически равной плотности, приводит к выводу о имеющихся структурных отличиях в кислых гелях с разным временем начала гелеобразования. Вывод подтверждается визуальными оптическими наблюдениями.

Исследования макроструктуры гелей показали, что наиболее плотную упаковку имеют щелочные гели состава № 5. Структура гелей состава № 6 характеризуется значительной открытой пористостью и неустойчивостью в водных средах. Гели состава № 5 имеют однородную микроагрегатную структуру в сочетании с наиболее высокими механической прочностью и синерезисом.

С течением времени в структуре силикателя появляются новообразования с четко выраженной ориентацией. Наблюдаются существование нескольких типов структур: плитчатой, столбчатой и пластинчатой.

Пористость кислых гелей возрастает от состава № 3 к составу № 1. Прозрачность гелей увеличивается с повышением степени их кислотности. Наибольшую прозрачность имеют гели состава № 1, наименьшую - гели состава № 5, что связано с их плотностью, степенью гидратации и структурными особенностями.

В составах № 5 и № 6 присутствие дисиликатов натрия позволяет предположить, что в поликонденсационных процессах структурообразования гелей участвуют соли дикремниевой кислоты. Отношение суммы молекул Si и O к числу молекул водорода у дикремниевой кислоты равно 3,5. У метакремниевой кислоты это же соотношение равно 2. Т.е., запolyмеризовавшаяся структура на базе дисиликатов имеет существенно меньшую степень гидратации ионами водорода. Это приводит к приоритетному влиянию более сильных силоксановых связей O-Si-O над связями типа Si-OH и, как следствие, к сильному объёмному сжатию под действием межмолекулярных сил, что выражено в большей величине синерезиса гелей составов № 5 и № 6 в сравнении с синерезисом гелей составов № 1-4 (табл. 1.4).

В пробе № 3 группа полос при 452, 535., 785, 875, 890, 1040 см^{-1} указывает на присутствие Na_2SiO_3 . Присутствуют также фосфат-ионы в виде групп PO_4^{-3} и гидрофосфат-ионы HPO_4^{-2} . Дуплет с максимумами при 1525 - 1645 см^{-1} свидетельствует о наличии в силикатной составляющей кристаллизационной воды, т.е. молекул воды, связанных в кристаллической решетке водородными связями с анионом либо слабыми координационными связями с металлом. В интервале 3044 - 3550 см^{-1} имеются несколько размытые полосы поглощения - 3430 и 3280 см^{-1} , соответствующие ν -колебаниям групп OH кристаллизационной воды, которые участвуют в слабых и средней силы водородных связях.

Интенсивные полосы поглощения ИК-спектра пробы в интервале 3070 - 3550 см^{-1} (3090., 3140, 3390, 3450 см^{-1}). Эти полосы., более выраженные, чем в пробе № 3, относятся к валентным колебаниям групп OH молекул кристаллизационной воды в жидком стекле. Дуплет 18400 - 1855 см^{-1} соответствует деформационным колебаниям кристаллизационной воды в жидком стекле. Образование полос при 1075 см^{-1} и 960 см^{-1} по нашему мнению связано с получением двоякого рода связей: Si-O-Si и Si-O-Na. Резкое углубление полосы 1070 - 1080 см^{-1} , соответствующей колебаниям OH в группах Si-O-H. вызвано поликонденсацией гидратированных ионов HSiO_4^{-3} , H_3SiO_4^- и $\text{H}_4\text{SiO}_4\text{aq}$ в сильно разбавленном растворе жидкого стекла, Все формы кремнекислоты представлены в виде $\text{H}_4\text{SiO}_4\text{aq}$. К этой полосе непосредственно примыкает полоса поглощения, соответствующая связям Si-O в группах SiO_4 (840 и 1510 см^{-1}). Данному интервалу принадлежит область интенсивного поглощения тетраэдров 5104- Для

полимеризованных тетраэдров - $1000 - 1500 \text{ см}^{-1}$, а для изолированных - $800 - 1050 \text{ см}^{-1}$,

Состав № 4 представлен интенсивными полосам поглощения. Форма спектра указывает на присутствие в пробе веществ, находящихся как в аморфном, так и в кристаллическом состояниях. Присутствие интенсивных полос поглощения при $465, 505, 7795, 810, 1090, 1100 \text{ см}^{-1}$ указывает на наличие $\alpha\text{-SiO}_2$ в переходном состоянии, поскольку дуплет сглажен.

Набор полос в интервале $400 - 700 \text{ см}^{-1}$ следует отнести к $\text{Na}_2 \text{SiO}_3$. Не исключено присутствие в пробе стеклообразного $\text{Na}_2 \text{Si}_2\text{O}_5$ ($555, 600, 780, 942, 1071, 1105, 1135 \text{ см}^{-1}$), а также $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ($800, 948, 1090, 1190, 1640, 3330 \text{ см}^{-1}$) и гидрофосфат-ионов HPO_4^{2-} .

Таким образом, на основании выполненных исследований можно заключить, что на прочность силикатно-натриево-фосфорнокислых гелей влияет: степень обводнённости ортофосфатов, проявляющаяся в количестве молекул присоединенной воды или молекул водорода (гидроортофосфаты и дигидроортофосфаты). Наиболее прочными являются гели составов № 5 и № 3, имеющие минимальное количество гидратирующих ионов водорода и молекул воды. Наибольший синерезис щелочных гелей объясняется образованием дисиликатов.

Выводы

1. Из полученных данных следует, что учет температуры образования геля имеет существенное значение при расчете параметров химического закрепления грунтов.
2. Получены зависимости времени начала образования кислых силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей от температуры окружающей среды при исходной плотности раствора силиката калия $1,16 \text{ г/см}^3$ и $1,09 \text{ г/см}^3$.
3. На основании физико-химических исследований, установлена схема образования силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей.
4. Выявлены отличия в фазовом составе силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей при различных объемных соотношениях исходных компонентов (К/С).
5. Подтверждено мнение о том, что солевое присутствие в гелях количественно связано с величиной их механической прочности при сжатии.
6. Установлено, что более широкий спектр солевых образований в "калиевых" гелях (в сравнении с "натриевыми") объясняет их повышенную величину прочности.
7. Щелочные силикатно-калиево-фосфорнокислые гели не рекомендуются к использованию при химическом закреплении грунтов.
8. Установлено, что на прочность силикатно-натриево-фосфорнокислых гелей влияет степень обводнённости ортофосфатов.
9. Установлено, что наиболее прочными являются гели, имеющие минимальное количество гидратирующих ионов водорода и молекул воды.
10. Установлено, что наибольший синерезис щелочных гелей объясняется образованием дисиликатов.

На основании изложенного, "калиевая" рецептура наиболее эффективна в интервале объемных соотношений исходных компонентов показанных в табл. 1.3.2.

Таблица 1.3.2. Рекомендуемые составы силикатно-калиево-фосфорнокислых гелей в пределах "буферного" интервала объемных соотношений исходных компонентов

Исходные плотности растворов силиката калия, ρ_c , г/см^3	Интервалы объемных соотношений исходных компонентов, К/С
1,09	0,9 - 2,5
1,16	2,2 - 3,76

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 25100-82. Грунты. Классификация. - М.: Из-во стандартов, 1983. - 12 с.
2. Грунти. Лабораторні визначення. Загальні положення. ДСТУ БВ.2.1 – 3 – 96. К.: 1997.
3. Бронжаев М.Ф. Метод расчёта параметров химического закрепления грунтовых массивов, загрязнённых фосфорнокислыми промстоками / Дисс... канд. Техн. наук: 05.23.02. – Днепропетровск, 1997. – 179 с.
4. Пособие по химическому закреплению грунтов инъекцией в промышленном и гражданском строительстве (к СНиП 3.02.01-83). -М.: Стройиздат, 1986. - С. 10-15.
5. Ржаницын Б.А. Химическое закрепление грунтов в строительстве. - М.: Стройиздат, 1986. - 263 с.
6. ГОСТ 10678-76. Ортофосфорная кислота. - М.: Из-во стандартов, 1977. - 15 с.
7. Силикат натрия растворимый. Технические условия. № 13079-93. – Киев. – 24 с.
8. ГОСТ 13078-81. Стекло натриевое жидкое. - М.: Из-во стандартов, 1981. - 18 с.
9. Аскалонов В.В. Однорастворный способ силикатизации грунтов и перспективы его применения в строительстве. Дисс... докт. геол.- минер. наук. - М., 1949. - 290 с.
10. Inorganic Phases. Powder diffraction file. Alphabetical index (Chemical and Mineral Name). International Centre for Diffraction data 1601 Park Lane, Swarthmore, Pennsylvania 19081, U.S.A., 1985. - 900 p.

2. УМОВИ ФОРМУВАННЯ ВЕРХНЬОГО ГІДРОГЕОЛОГІЧНОГО ПОВЕРХУ ХАРКІСЬКОЇ МІСЬКОЇ АГЛОМЕРАЦІЇ

В межах Східної України навколишнє середовище в цілому та геологічне середовище зокрема мають значне техногенне навантаження. При цьому значне техногенне навантаження мають атмосферні опади, ґрунти, поверхневі та підземні води. Забруднення підземних вод межигорсько-обухівського водоносного комплексу, крейдяно-мергельної товщі привело до виключення з експлуатації кількох водозаборів на ці водоносні комплекси та горизонти.

Централізоване водопостачання м. Харкова базується на поверхневих (водосховища Печеніжське та Червоно-Оскольське на рр. Сіверський Донець) та підземних джерелах (межигорсько-обухівський водоносний комплекс, крейдяно-мергельний горизонт та сеноман-альбський водоносний комплекс).

За даними ВОЗ (Всесвітньої Організації Здоров'я) захворювання населення що 80 % залежить від якості питної води.

Вода є одним із головних факторів формування здоров'я населення, але до цього часу немає єдиного погляду на кількісні оцінки ступеня впливу складу та якості питної води та її забруднення на стан здоров'я. Якість питної води в умовах відсутності геохімічних аномалій відноситься до категорії факторів малої інтенсивності. Це означає, що підвищений у порівнянні з фоновим вміст хімічних компонентів сприяє збільшенню частоти захворювання.

Неприємний вплив забруднення питної води може реалізуватись в кількох напрямках, а також в загальнотоксичному напрямку, який сприяє збільшенню загального захворювання населення (серцево-судинних, шлунково-кишкового тракту та ін.).

Не зважаючи на досить благополучний стан навколишнього середовища на Харківщині порівняно з іншими регіонами, відмічається досить велика смертність населення, в тому числі дитяча.

В гідрогеологічному відношенні м. Харків належит до Дніпровського артезіанського басейну другого порядку в складі Дніпровсько-Донецького артезіанського басейна першого порядку.

В розрізі по гідродинамічним та гідрогеохімічним властивостям виділяють два гідрогеологічних поверхи: верхній та нижній.

До верхнього поверху належать водоносні горизонти та комплекси у відкладах четвертинного, неогенового, палеогенового, крейдяного та верхньояурського віку. По гідродинамічним властивостям ділиться на два підповерхи: верхній та нижній. Верхній підповерх, який включає водоносні горизонти четвертинних, неогеновий, палеогеновий та верхнекрейдяний відкладів за умовами живлення, транзиту та розвантаження представляє собою ґрунтові та слабо напірні води. Нижній під поверх представлений артезіанськими високопапірними водоносними комплексами сеноман-нижньокрейдяних та кимеридж-волжських відкладів верхньої юри.

До нижнього гідрогеологічного поверху належать водоносні комплекси нижнього мезозою та палеозою.

Відповідно до геологічної будови на території робіт виділяються наступні водоносні горизонти й комплекси:

- водоносний горизонт четвертинних алювіальних відкладів;
- водоносний горизонт алювіальних відкладів пліоценових терас;
- водоносний горизонт берексько-новопетрівських відкладів олігоцен-міоцену;
- водоносний горизонт межигірських відкладів олігоцену;
- водоносний горизонт обухівських відкладів еоцену;
- водоносний горизонт канівсько-бучацьких відкладів еоцену;

- водоносний горизонт мергельно-крейдових відкладів верхньої крейди;
- водоносний комплекс альб-сеноманських відкладів верхньої та нижньої крейди;
- водоносний комплекс кімеридж-волзьких відкладів верхньої юри;
- водоносний комплекс келовей-оксфордських відкладів верхньої юри;
- водоносний комплекс тріасових відкладів.

Водоносний горизонт четвертинних алювіальних відкладів приурочений до заплав і надзаплавних терас річок Уди, Лопань і Харків та їх притоків. Водовмісні породи представлені пісками сірими й жовто-сірими, кварцовими різнозернистими, глинистими. Середня потужність горизонту - 10-15 м.

Горизонт безнапірний. На заплавах річок рівень ґрунтових вод досягає земної поверхні, а на низьких терасах його глибина менше за 3 м.

Підстилається горизонт різновіковими відкладами від еоценових до верхньокрейдяних, із водоносними горизонтами яких він тісно гідравлічно пов'язаний. Водообільність горизонту невелика, дебіти колодязів та джерел становлять 0,1-0,7 л/с при зниженні рівня на 1 м. По хімічному складу води гідрокарбонатно-сульфатні, сульфатно-хлоридні натрієво-кальцієві з мінералізацією до 1,2 г/дм³ і загальною жорсткістю до 12,5-15,5 ммоль/дм³.

Живлення горизонту здійснюється, головним чином, за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, але на території м. Харкова, в умовах техногенезу нарівні з природним живленням горизонт отримує додаткове інфільтраційне живлення техногенними водами, що наближається до величини природного живлення.

Водоносний горизонт у відкладах пліоценових терас розповсюджений, головним чином, на лівобережжі річок Уди, Харків і Лопань.

Горизонт приурочений до нижньої частини алювіальних відкладів, представлених дрібнозернистими пісками середньою потужністю 10-15 м. Глибина залягання 5-30 м. Горизонт напірно-безнапірний. Коли в покрівлі горизонту залягають глини, величина напору досягає 10 м.

Підошвою горизонту служать піщано-глинисті відклади межигірської та обухівської світ, із водоносними горизонтами яких він взаємопов'язаний.

Горизонт експлуатується в північній та східній частинах району за допомогою свердловин і колодязів. Дебіти свердловин складають у більшості випадків 1,2-1,4 л/с, питомі дебіти - 0,3-0,4 л/с.

По хімічному складу води сульфатно-гідрокарбонатні і рідше гідрокарбонатно-сульфатні кальцієві й натрієво-кальцієві з мінералізацією 0,6-1,0 г/дм³, в окремих випадках до 2,5 – 3,0 г/дм³.

Живлення горизонту здійснюється, головним чином, за рахунок інфільтрації атмосферних опадів.

Водоносний горизонт берексько - новопетрівських відкладів олігоцен-міоцену розвинений в області вододільних плато й схилів. Водовмісні відклади представлені пісками дрібно-крупнозернистими кварцовими потужністю від 3-5 до 10 м. Глибина залягання покрівлі - від 1 до 20 м.

Горизонт безнапірний. Нижній водотрив представлений глинами берекської світи потужністю від 1-2 до 14 м.

Води горизонту використовуються дрібними водокористувачами. Дебіти свердловин змінюються від 0,3 до 3 л/с при пониженні рівнів до 10 м.

По хімічному складу води гідрокарбонатні і гідрокарбонатно-сульфатні магнієво-кальцієві з мінералізацією 0,4 - 1 г/дм³.і змістом нітратів до 120 мг/дм³ і більше.

Живлення горизонту відбувається шляхом інфільтрації атмосферних опадів.

Водоносний горизонт межигірських відкладів олігоцену розповсюджений на вододільних ділянках та їх схилах.

Водовмісні породи представлені пісками зеленими й сірувато-зеленими, кварцово-глауконітовими, дрібно- і тонкозернистими, глинистими потужністю від 10-15 м на півночі до 35 м на південному заході.

На вододілах у покрівлі залягають або малопотужні глини берекської світи, або піски алювію пліоценових терас. В підшві межигірських пісків повсюдно залягають глини, алевроліти й пісковики обухівської світи.

Води мають частіше слабонапірний характер, в південному напрямку величина напору збільшується до 10-20 м. Горизонт експлуатується одиночними свердловинами з дебітом 0,3 - 1,5 л/с при пониженні рівнів до 5 м.

За хімічним складом води строкаті, переважають гідрокарбонатні і сульфатно-гідрокарбонатні натрієво- і магнієво-кальцієві з мінералізацією 0,6-0,8 г/дм³.

Живлення водоносного горизонту відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів і перетоку вод із суміжних горизонтів.

Водоносний горизонт обухівських відкладів еоцену має широке розповсюдження у районі робіт. Приурочений до тріщинуватої зони алевролітів і пісковиків дрібно-тонкозернистих, кріпких при глибині залягання до 50,0-60,0 м. На вододілі, де глибина залягання відкладів зростає, тріщинуватість порід затухає і відклади практично безводні. Потужність водоносного горизонту - 10-16 м.

Нижнім водотривом служать глинисті мергелі й глини київської світи. В покрівлі залягають водоносні відклади межигірської світи, алювію пліоценових і четвертинних терас, утворюючи з даним горизонтом єдиний водоносний комплекс.

Окремі промислові підприємства м. Харкова експлуатують горизонт за допомогою водозаборів. Дебіти досягають 8-11 л/с при знижках рівнів 2-5 м, питомі 2-5 л/с.

За хімічним складом води горизонту в основному сульфатно-гідрокарбонатні і гідрокарбонатні зі змішаним складом катіонів. По мінералізації від 0,4 до 1,0 г/дм³ рідше - до 1,6 г/дм³.

В долинах річок Роганка, Студенок, балці Саржин Яр розвантажуються підземні води над мергельних горизонтів у вигляді джерел, мочажин і безперервних пластових вклинювань. Вода джерел використовується населенням для питних цілей. В Саржиному Яру знаходиться джерело мінеральних вод «Харківська-1».

Живлення водоносного горизонту відбувається, головним чином, за рахунок перетоку вод із суміжних горизонтів.

Водоносний горизонт канівсько-бучацьких відкладів еоцену розвинутий повсюди на території району за виключенням заплав рр. Харків та Уди північніше м. Харкова. Водовмісні породи представлені пісками сірими, зеленувато-сірими тонко- і дрібнозернистими, глинистими середньою потужністю до 10 м. Глибина залягання покрівлі збільшується з 10 до 150 м у південно-західному напрямку. В покрівлі горизонту залягають глини й мергелі київської світи потужністю 20- 25 м. У долинах річок Лопань і Харків, де київські відклади розмиті дочетвертинною ерозією, бучацько-канівський горизонт гідравлічно зв'язаний з ґрунтовими водами алювію. Горизонт має напірний характер. Величина напору на півдні району досягає 10-15 м і збільшується в південно-західному напрямку.

У підшві горизонту залягають канівські і лузанівські глини потужністю від перших метрів до 10 м, ізолюючи бучацько-канівський водоносний горизонт від мергельно-крейдового.

Дебіти свердловин, що експлуатують горизонт, складають від 0,8 до 2-3 л/с при зниженнях рівнів від 5 до 45 м.

Води горизонту характеризуються строкатим хімічним складом: від гідрокарбонатних до гідрокарбонатно-сульфатних натрієво-кальцієвих і кальцієво-натрієвих. Загальна мінералізація води - від 0,5 до 1,2 г/дм³, величина жорсткості коливається від 4 до 17 ммоль/дм³.

Живлення водоносного горизонту відбувається, головним чином, за рахунок перетоку вод із суміжних горизонтів.

Водоносний горизонт мергельно-крейдових відкладів (МКВГ) верхньої крейди приурочений до тріщинуватої зони мергельно-крейдових відкладів верхньої крейди й опоковидних пісковиків і алевролітів сумської світи, що простягається смугою шириною 2,5-5 км уздовж долин річок Харків, Лопань, Уди.

Місто Харків розташоване на перехресті цих річок, де ширина зони тріщинуватості збільшується до 10 км (граф. дод.2).

Глибина залягання горизонту змінюється з 6-12 м до 50 м у бік занурення. Тріщинуватість порід розповсюджується до глибини 70-80 м. В напрямку вододілів тріщинуватість порід гасне і відклади горизонту набувають практичної безводності.

На більшій площі розвитку в покрівлі горизонту залягають канівські і лузанівські глини, а в місцях відсутності останніх - бучацько-канівський та алювіальний четвертинний водоносні горизонти, із якими він гідравлічно пов'язаний.

Горизонт напірний. Величина напору змінюється від 10 до 70 м. П'єзометрична поверхня горизонту має нахил до долин річок у південному напрямку і міняється з абсолютних відміток у непорушеному режимі від

115-120 до 100-105 м. В умовах експлуатації абсолютні відмітки рівня зніжуються до 80-90 м.

Водообільність горизонту залежить від ступеню тріщинуватості порід. Найбільша водоносність відкладів у долинах річок, де дебіти свердловин досягають 22,2 л/с при пониженні до 3,9 м.

До кінця 80-х років горизонт був одним з основних джерел водопостачання м. Харкова. В 1965 р. по водоносному горизонту на території міста затверджені запаси підземних вод у кількості 46,8 тис. м³ /добу.

Водоносний горизонт знаходиться в зоні активного водообміну. В умовах експлуатації у живленні та розвантаженні його приймає участь весь комплекс вищезалягаючих палеоген-четвертинних відкладів.

Води горизонту переважно гідрокарбонатно-сульфатні натрієво-кальцієві з мінералізацією до 2 г/дм³, загальною жорсткістю до 18-25 ммоль/дм³, по багатьох компонентах не відповідають санітарним нормам і вимогам для питних вод.

Водоносний комплекс альб-сеноманських відкладів верхньої та нижньої крейди (АСВК) має регіональне поширення в межах ДДАБ і є одним з основних джерел водопостачання м. Харкова.

Водовмісні породи комплексу в нижній частині представлені піском сірим кварцовим різнозернистим з малопотужними прошарками глин і пісковика різнозернистого, в верхній – піском сірим, зеленувато-сірим дрібнозернистим. Загальна потужність АСВК змінюється від 34 до 140 м, складаючи в межах міста 34-85 м і зростає по падінню шарів, ефективна потужність піщаних колекторів коливається від 20 м до 60 м.

Глибина залягання покрівлі АСВК закономірно збільшується від 520 м на півночі до 790 м на південному заході.

В покрівлі комплексу залягає мергельно-крейдяна товща потужністю 360-660 м, в підшві – строкаті глини верхньої юри потужністю 13-66 м.

Комплекс високонапірний. Абсолютні відмітки статичного рівня в непорушеному режимі складали 105-120 м. Загальний ухил п'єзометричної поверхні мав, в основному, південно-західний напрям. Градієнт ухилу - 0,1-0,15 м/км.

Водозбагаченість АСВК висока. Дебіти експлуатаційних свердловин змінюються від 3,5 до 50 л/с, в середньому становлячи 12-18 л/с, але можуть складати і більше за 100 л/с. Питомі дебіти свердловин коливаються в інтервалі 0,4-8 л/с·м, частіше складають 3-7 л/с·м.

Для водопостачання м. Харкова АСВК використовується з 80-их років XIX століття. В 1965 р. на території міста затверджені запаси підземних вод АСВК у кількості 200 тис. м³/добу по категоріях А+В.

Максимальний водовідбір був досягнутий на початку 80-х років минулого сторіччя і складав 128,9-130,4 тис. м³/добу при знижці рівнів 117,7-138,2 м (НС 4, 6, 8, 9, 11, 14). Починаючи з 1983 р., в зв'язку із зменшенням водовідбору спостерігається відновлення рівня із середнім темпом біля 3,0-4,0 м/рік. У 2004 р. на комунальних і відомчих водозаборах м. Харкова відбиралося 35,7 тис. м³/добу

У 2002 р. на Роганському родовищі затверджені запаси підземних вод по комплексу у кількості 3,6 тис. м³/добу для водопостачання пивзаводу «Рогань».

Внаслідок тривалої та інтенсивної експлуатації АСВК у межах східної частини ДДАБ утворилась значна по площі депресія, що охоплює території Харківської, Сумської та Полтавської областей (граф. додаток 6).

Основна область живлення АСВК у непорушених умовах розташована на західному схилі Воронізького підняття, де АСВК залягає як під алювіальними, так і під інтенсивно тріщинуватими закарстованими мергельно-крейдовими відкладами, із водоносними горизонтами яких гідравлічно взаємопов'язаний. Додаткове живлення АСВК отримує

шляхом перетоку вод із суміжних горизонтів особливо в районах купольних структур і тектонічних порушень.

Основна область розвантаження АСВК знаходиться в долині р. Дніпро.

Води АСВК по хімічному складу частіше сульфатно-гідрокарбонатні натрієво-кальцієві з мінералізацією 0,5-0,9 г/дм³, по якості, за виключенням вмісту заліза (від 0,3 до 4,5 мг/дм³) і рідше марганцю (до 0,14 мг/дм³) відповідають вимогам, що пред'являються до питних вод.

Водоносний комплекс кімеридж-волзьких відкладів верхньої юри (ВЮВК) на території міста Харкова розкритий декількома розвідувальними й експлуатаційними свердловинами на глибині 606-841 м.

Водовмісні породи частіше представлені тріщинуватими пісковиками і рідше пісками, загальна потужність яких складає 30-60 м.

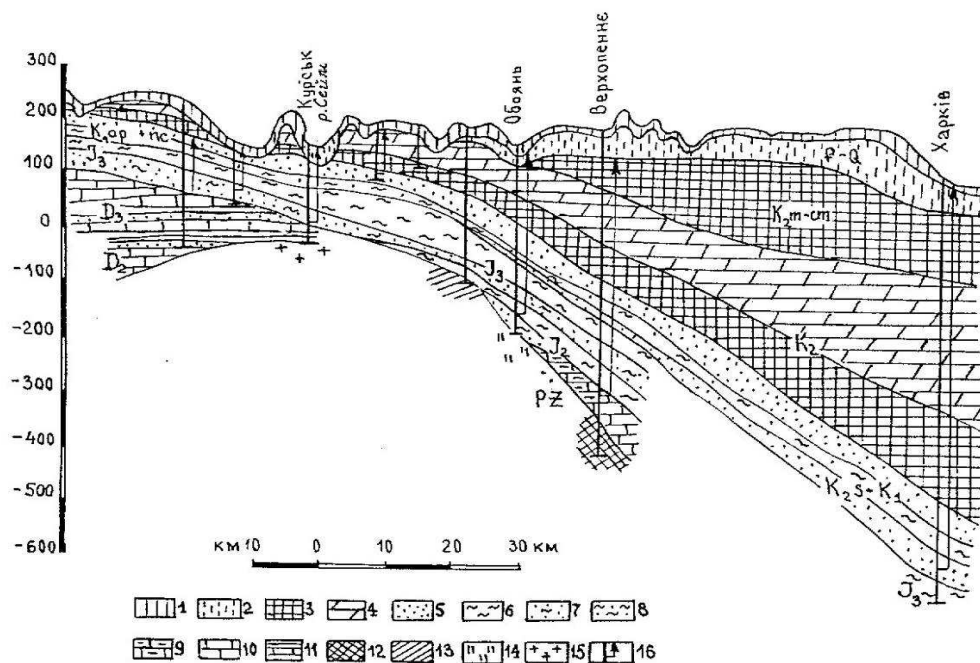
Верхнім водотривом комплексу служать строкаті глини верхньої частини волзького ярусу потужністю від 13 м до 66 м, нижнім - кімеридж-волзькі глини.

Дебіти свердловин, що експлуатують комплекс у м. Харкові, становлять 3,4 - 11,2 л/с при зниженні рівня на 6,2-70,0 м.

Комплекс високонапірний. Висота напору коливається від 558 м до 768 м.

Водообмін комплексу здійснюється за рахунок перетоку вод із суміжних комплексів. Гідравлічний зв'язок із АСВК утруднений, але під час експлуатації останнього протягом більш 100 років зміна рівнів в обох комплексах придбала синхронну залежність.

ВЮВК містить води, різко відмінні по хімічному складу від вод вище і нижче залягаючих водоносних комплексів. Це дуже м'які за величиною загальної жорсткості, як правило, менше 1 ммоль/дм³, частіше хлоридно-гідрокарбонатні натрієві води з



1 - суглинки; 2 - перешарування пісків і глин; 3 - крейда; 4 - мергелі;
5 - піски; 6 - глини; 7 - глинисті піски; 8 - глини піщані; 9 - пісковики;
10 - вапняки; 11 - перешарування вапняків, глин і пісковиків; 12 - руди;
13 - кварцити; 14 - кристалічні сланці; 15 - граніти; 16 - п'єзометричний
рівень водоносних горизонтів

Мал.2.1 — схематичний геолого-гідрогеологічний розріз
основної області живлення

мінералізацією 0,4 - 0,6 г/дм³. Характерною особливістю складу води є підвищений вміст фтору - до 1,8 - 2,2 мг/дм³.

ВЮВК є перспективним джерелом питного водопостачання.

Водоносний комплекс келовей-оксфордських відкладів верхньої юри розкритий і опробований на північній околиці м. Харкова.

У верхній частині в інтервалі глибин 849-855 м водовмісні породи представлені пісковиками кварцовими з прошарками вапняку. У нижній частині (860-875 м)- пісками сірими різнозернистими. Загальна потужність- 33 м.

Водоносний горизонт напірний. Верхній водотрив складений аргілітоподібними глинами оксфордського ярусу, нижній - глинами байоського ярусу. Величина напору - 820 м. Рівень води встановився на глибині 28,8 м. Абсолютна відмітка рівня - 124,4 м, що свідчить про непорушений режим. Дебіт свердловини - 3,4 л/с при зниженні 27,8 м.

Води теплі, дуже м'які, гідрокарбонатно-хлоридні натрієві з мінералізацією 2,86 г/дм³, дана вода є мінеральною питною, лікувально-столовою.

Водоносний комплекс тріасових відкладів розповсюджений на всій території. На даній площі були пробурені 2 свердловини, що розкрили й опробували водоносний комплекс.

Глибина залягання горизонту росте в південно-західному напрямі з 997 м до 1029 м. Водоносні породи - вапняки й пісок сірий, різнозернисті, від дрібних до крупних із прошарками глин сірих і коричневатобурих, щільних загальною потужністю до 25-35 м.

Горизонт високонапірний. Верхній водотрив представлений потужною товщею (78 м) байосько-батських аргілітоподібних глин, нижній водотрив - глинами й алевролітами тріасового віку. Статичний рівень встановився на глибині 43,0 м (абс. відм. 110 м). Величина напору досягає 986 м. Дебіти свердловин становили 7-8 л/с при зниженні 6,0-6,5 м.

За хімічним складом вода хлоридна натрієва з мінералізацією 20,6-25 г/дм³, збагачена Br (26-31 мг/дм³) і може бути використана в лікувальних цілях.

ЛІТЕРАТУРА.

1. Дослідження екологічних аспектів використання підземних вод в системі водопостачання населених пунктів Східної України. Аналіз фактичного матеріалу: Проміжний звіт по НДР. - ХНУ. - Харків, 2000.
2. Закон України "Об обеспечении санитарного и эпидемиологического благополучия населения". - Киев, 02.10.1992.
3. Положение о государственном мониторинге окружающей природной среды. Утверждено пост. КМ Украины № 786 от 23.09.1998.
4. Порядок здійснення державного моніторингу вод. Затверджено постановою КМ України № 815 від 20.07.1996.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ СЛАБКИХ ГРУНТІВ У БУДІВЕЛЬНИХ ЦІЛЯХ, У ТОМУ ЧИСЛІ ПЕНЕТРАЦІЙНЕ

Дефицит свободных земельных участков в городах и населенных пунктах заставляет вести строительство на площадках, которые характеризуются так называемыми сложными грунтовыми условиями. К ним относятся, в частности, площадки, сложенные слабыми, водонасыщенными грунтами.

Основными признаками этих грунтов является их низкая несущая способность и высокая деформативность при действии внешних нагрузок.

В пределах города Харькова слабые грунты имеют значительные распространения. Сюда относятся район Центрального коммунального рынка, Южного железнодорожного вокзала, Левады, Диканевки, Новожаново и т. д., то есть обширные поймы харьковских рек (Лопань, Харьков, Уды, Немышля).

Для определения строительных свойств слабого грунта использовались грунтовые образцы, отобранные в пойме реки Лопань. Площадка предназначалась для строительства одноэтажных складских помещений, протяженно расположенных вдоль поймы реки. Отбор грунта производился в углубленном шурфе на глубинах от 0,45 до 2,6 м от дневной поверхности. Уровень подземных вод был зафиксирован в момент отбора (июль) на глубине 2,7 м и определен как устоявшийся. Периодическое повышение УПВ – до 1 м.

В шурфе до глубины 0,45 м обнаружен насыпной слой, представленный котельным шлаком и строительным мусором.

Ниже на всю глубину шурфа расположена достаточно однородная по составу желтовато-серая супесь. Значения физических характеристик супеси предоставлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1.

Влажность природная, д.е.	Влажность на пределе текучести, д.е.	Влажность на пределе пластичности, д. е.	Число пластичности, д.е.	Показатель текучести	Удельный вес частиц, кН/м ³	Удельный вес грунта, (средний), кН/м ³	Коэффициент пористости	Степень влажности, д.е.
0,18	0,20	0,16	0,04	0,50	26,8	17,6	0,796	0,61

Примечание: По глубине слоя влажность практически не менялась до УПВ.

Плотность грунта по глубине слоя. Установлено, что достаточно прочные грунты –глинистые и песчаные в пределах слоя небольшой толщины, расположенного вблизи поверхности практически не меняют значения удельного веса (плотности), поскольку незначительное по величине природное давление не может вызвать изменения уплотнения таких грунтов.

Другое дело – слабые грунты с небольшими значениями модуля деформации и высокой деформативностью под нагрузкой. Для этих грунтов возможны изменения плотности с глубиной на незастроенной площадке.

Отбор грунта с троекратным повторением производился на глубине 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, и 2,5 м. Отбор производился гильзами стаканного типа конструкции И. М. Литвинова объемом 50см³. В отличие от кольцевых гильз такого же объема, стаканые гильзы позволяют получать более точные результаты при определении удельного веса грунта в естественном состоянии.

На рис.3.1 приведен график изменения плотности грунта в пределах глубины шурфа. Нарастания в некоторых случаях плотности слабого грунта с глубиной необходимо учитывать при проектировании песчаных подушек, поскольку при таких обстоятельствах песчаная подушка может выполнена в более экономичном варианте.

Величина структурных связей в слабом грунте определялась с помощью компрессионного прибора системы Литвинова. Эффект

структурной прочности грунта может быть выявлен при медленном загрузении грунтового образца с очень небольшими ступенями нагрузок.

Если при испытании слабого грунта проявляется структурная прочность и ее величина имеет существенное значение, то это явление должно быть учтено при проектировании основания.

По имеющимся сведениям [1,2] структурная прочность слабых водонасыщенных грунтов в Ленинградской области достигает значительных величин и учитывается при строительстве.

В работе [1] приведены результаты исследования слабых водонасыщенных ленточных отложений. Отмечается что « Отличительной особенностью ленточных отложений является их структурная связность, которая выражается в резком снижении прочности образцов при разрушении их естественной структуры путем переминания или других механических воздействий».

Компрессионные испытания грунта, физические свойства которого приведены выше, показали, что структурные связи в данном случае проявлялись слабо и практически не зависели от начальной плотности грунтового образца (Рис. 3.2). Это свидетельствует о том, что основным фактором, формирующим структуру грунта, являются коллоидные и кристаллизационные процессы, развивающиеся в определенных условиях в пределах каждого текстурного типа грунта.

В данном случае, т.е. в современных пойменных отложениях низкопластичные супеси имеют слаборазвитую структуру, независимо от их начальной плотности.

Испытания проводились по стандартной схеме, но с малыми ступенями нагрузок, равным 5 кПа ($0,05 \text{ кгс/см}^3$).

Поскольку имеются сведения о том, что структурная прочность отдельных типов слабых грунтов может быть значительна, то сопоставляя эти данные с результатами наших испытаний, следует сделать вывод о том, что при строительстве на слабых грунтах в каждом отдельном случае,

обязательно определение структурной прочности по специально разработанной программе, имеющей стандартную основу.

Прочностные показатели исследуемого грунта. Интерес представляют изменения значений прочностных показателей в связи с изменением влажности слабых глинистых грунтов пойменных отложений.

В поймах харьковских рек колебания уровней подземных вод составляют до 1,05 – 1,5м, а в экстремальных ситуациях они достигают 2-х и более метров [3].

При водонасыщении глинистых грунтов в наибольшей степени изменениям подвергается удельное сцепление, особенно это касается лессовидных грунтов.

В грунтах пойменных отложений степень влажности достаточно высокая, поэтому интерес представляет, как такие грунты, в данном случае, супеси, реагируют на дополнительное увлажнение с точки зрения их прочности.

В испытаниях участвовала желто-серая супесь с числом пластичности 0,04.

Результаты испытаний сведены в таблицу 3.2.

Начальная влажность, %	Влажность водонасыщения, %	Прочностные показатели			
		До водонасыщения		После водонасыщения	
		φ°	С, кПа	φ°	С, кПа
18	19,6	15,6	18	11,3	14

Полученные данные позволяют считать, что общая закономерность, связанная с понижением значений прочностных характеристик слабых грунтов при увлажнении сохраняется, однако она менее выражена.

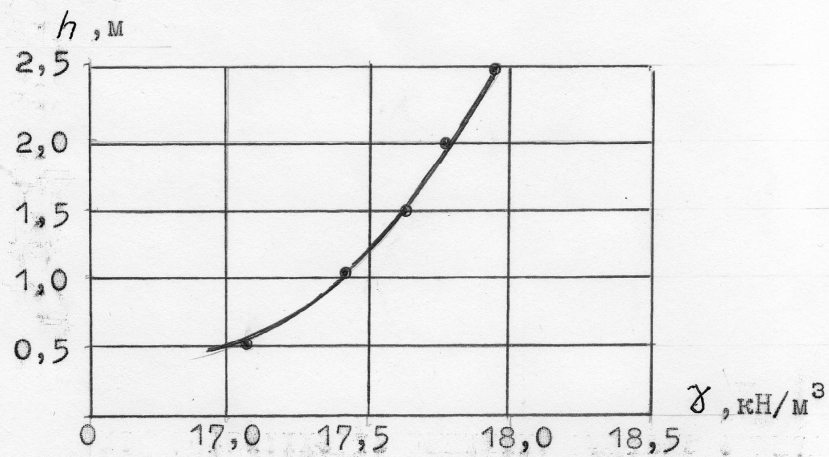


Рис 3.1. Зависимость величины удельного веса от глубины расположения слабого глинистого грунта в однородном слое.

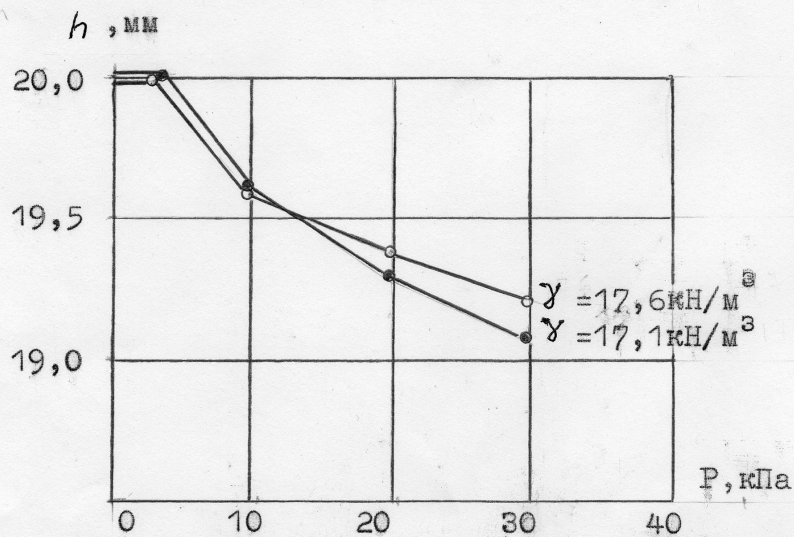


Рис 3.2. Структурная прочность слабого грунта при испытании на компрессионном приборе.

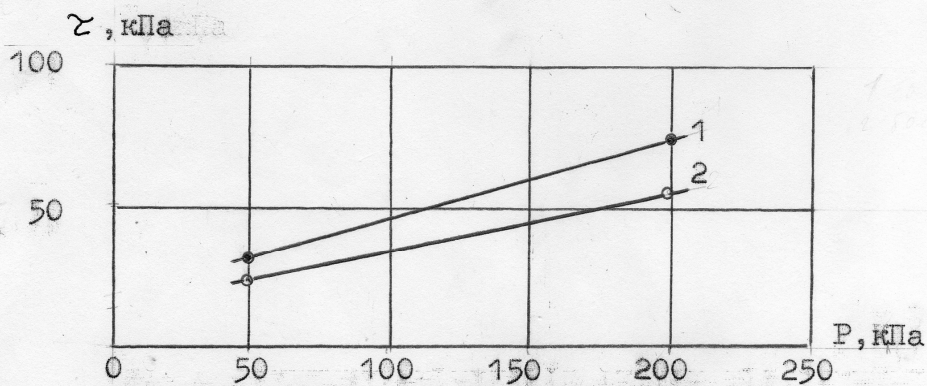


Рис 3.3. Изменение параметров сдвига при увлажнении супеси на 1,6%: 1 и 2 – соответственно графики сдвигов до и после водонасыщения.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фурса В. М. О структурной прочности позднеледниковых ленточных отложений. Материалы XIX научной конференции.–Л.: ЛИСИ, 1961. – 26с.
2. Бойченко П. О. Об определении пределов пластичности, консистенции и структурной связности глинистых грунтов.– Л.: ЦБТИ, 1962–22 с.
3. Демченко О. Ф. и др. Инженерная защита станции «Центральный Рынок» от воздействия грунтовых вод.
Материалы докладов международной конференции «Нагальні проблеми ліквідації підтоплення ґрунтовими водами територій міст і селищ міського типу України». Київ.1998.– 75с.

4.ТЕХНОЛОГИЯ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАСЧЕТА ГРУНТОЦЕМЕНТНЫХ СВАЙ (ЭКСПЕРИМЕНТ)

Одним из наиболее доступных, дешевых и имеющих повсеместное распространение материалов является грунт. Однако как строительный материал он имеет низкую прочность, малую водо- и морозоустойчивость. Чтобы исключить этот недостаток, в грунты вводят различные стабилизаторы (цемент, известь, битум, полимеры и т.д.). Наиболее надежным и экономичным стабилизатором является цемент.

В нашей стране грунтоцемент применяется в фундаментостроении достаточно давно. Перспективность применения грунтоцементных свай в качестве как фундаментов так и вертикальных элементов армирования грунтов заключается в возможности полной механизации работ, экологической чистоте, невысокой шумности, возможности ведения работ в стесненных условиях, сокращении сроков и конечной стоимости строительства. Все это позволяет сделать вывод о целесообразности широкого применения фундаментов такого типа.

Технология изготовления грунтоцементных свай.

В настоящее время наиболее распространены две технологии изготовления грунтоцементных свай: буро-смесительная и струйная.

Буросмесительная технология [1,2,3]

Буросмесительный способ закрепления грунтов цементом не связан с коэффициентом фильтрации грунтов и практически может быть использован для закрепления всех видов песчаных и глинистых пород. Сущность буросмесительного способа состоит в следующем: к полый штанге буровой установки прикрепляется специальный рабочий орган (буросмеситель), с помощью которого в процессе бурения происходит размельчение и перемешивание грунта с водоцементным раствором или другими химическими реагентами. Раствор, приготовленный в смесительных установках, поступает в промежуточную емкость, а оттуда под давлением до 5 атм — через вертлюг и полую штангу к буросмесителю. В процессе погружения буросмесителя в грунт через отверстия в его лопастях поступает цементный раствор. Равномерное распределение раствора достигается фиксированным погружением буросмесителя (2-20 мм за один оборот), и его дозированной подачей. При погружении в грунт буросмесителя одновременно и в требуемом количестве для закрепления размельченного грунта вводится цементный раствор (В/Ц - 0,6). При обратном вращении (выемка буросмесителя) происходит некоторое уплотнение цементогрунтовой смеси.

Для более полного разрушения агрегатов грунта и получения однородной цементогрунтовой смеси буросмеситель погружают и выглубляют до 4 раз. Производительность буровых установок по рассмотренной технологии зависит от числа оборотов и подачи буросмесителя. Чем больше подача, тем толще снимаемая стружка грунта и, следовательно, больше неразрушенных агрегатов. Одновременно с увеличением подачи резко возрастает усилие резания и потребления энергии.

Также существует способ, когда при погружении буросмесителя (без выемки грунта) одновременно с резанием грунта подается определенное количество воды, необходимое для перевода разрыхленного грунта в текучее состояние. При выглублении буросмесителя в образовавшуюся грунтовую массу вводится водоцементный раствор ($V/C = 0,5-0,6$). Такой способ позволяет решить вопрос получения однородной цементогрунтовой смеси за 1—2 прохода буросмесителя, в несколько раз снизить усилия резания. Появляется возможность изготавливать сваи большой длины (более 20 м), так как введение цементного раствора осуществляется при выглублении буросмесителя, т.е. устройство свай не связано со сроками схватывания цемента. Следует также отметить, что лессовый грунт, окружающий закрепляемый массив, увлажняется за счет передвижения воды из грунтовой массы.



Рис.4.1 Изготовление грунтоцементных свай по буросмесительной технологии

Струйная технология.

При выполнении работ по струйному закреплению практически всех типов грунтов применяется та или иная из трех технологических схем устройства конструкций в грунтах:

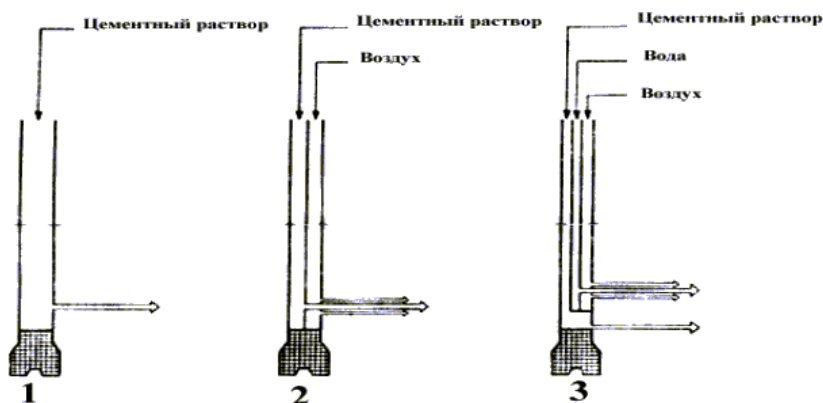


Рис. 4.2. 1-однокомпонентная технология; 2- двухкомпонентная технология; 3- трехкомпонентная технология.

- однокомпонентная, предусматривающая размыв грунта струей твердеющего раствора (цементного, глинистого, глиноцементного).
- двухкомпонентная, в которой размыв грунта осуществляется струей твердеющего раствора под защитой струи воздуха;
- трехкомпонентная схема, заключающаяся в размыве грунта струей воды под защитой струи воздуха, и заполнение размывной полости твердеющим цементно-песчаным раствором.

Одним из вариантов реализации данной технологии является следующий[4]:

Устройство свай из грунтобетона выполняется в два этапа – в процессе прямого и обратного хода буровой колонны.

Во время прямого хода производят бурение лидерной скважины до проектной отметки. Буровой раствор поступает через открытый прямой клапан в буровой наконечник для удаления шлама в процессе бурения. В качестве бурового раствора используется вода, бентонитовый или цементный раствор.

В процессе обратного хода в сопла монитора, расположенного на нижнем конце буровой колонны, подают под высоким давлением цементный раствор и начинают подъем колонны с одновременным ее вращением.

При создании высокого давления прямой клапан закрывается, преграждая проникновение цементного раствора в буровой наконечник, поэтому весь цементный раствор поступает исключительно в сопла монитора.

Так как разрушение и замешивание грунта требует высоких значений кинетической энергии струи раствора, для реализации схемы струйной цементации необходимо применение мощного высоконапорного цементонасоса. Практика показала, что давление должно составлять от 400 до 700 атм., а мощность двигателя должна быть не ниже 350 л.с.

Еще одной особенностью данной технологии является монитор, оснащенный прямым и обратным клапаном, а так же соплами. Назначение сопел – преобразование высокого давления раствора, развиваемого цементировочным насосом, в кинетическую энергию струи. В связи с высокими абразивными свойствами цементного раствора сопла изготавливаются из специального металлокерамического состава.



Рис.4.3 Изготовление грунтоцементных свай с применением струйной технологии

Расчет грунтоцементных свай

По своей структуре грунтоцементные сваи имеют значительное сходство с буронабивными сваями. Это позволяет при проектировании одиночных свай фундаментов использовать [5]. Известно, что в соответствии с главой 3 СНиП расчет одиночных свай выполняется по первой и второй группам предельных состояний. Первая группа включает проверку прочности материала свай и несущей способности грунта основания свай. Осадки фундаментов прогнозируются по второй группе предельных состояний.

Расчет несущей способности грунта основания свай.

В том случае, когда грунтоцементная свая представляет сваю-стойку, т.е. опирается нижним концом на скальный грунт, расчет свай производится в соответствии с пунктом 4.1 СНиП.

Гораздо более интересным является устройство висячей грунтоцементной сваи. В этом случае грунтоцементные сваи обладают целым рядом преимуществ по сравнению с забивными, буровыми, набивными или буроинъекционными сваями [6]:

При цементации вокруг свай происходит существенное уплотнение грунта и, соответственно, повышение его прочностных характеристик. Это связано с «прессующим» воздействием на грунт цементной струи, а также дополнительным уплотняющим воздействием на грунт весового давления столба грунтоцементной смеси.

Между стволом сваи и грунтом образуется пограничный слой из отвердевшего чистого цементного раствора, который значительно повышает сцепление сваи с грунтом.

Грунтоцементные сваи имеют более развитую "шероховатую" поверхность. При том разрушение грунта по боковой поверхности свай происходит по цилиндрической поверхности, диаметр которой равен максимальному диаметру сваи.

Подошва сваи опирается на материковый грунт, покрытый слоем отвердевшего цемента, а не на буровой шлам, как это происходит при производстве буровых свай.

Перечисленные особенности улучшают условия опирания сваи на грунт, а также значительно повышают сцепление сваи с грунтом по ее боковой поверхности. Это дает возможность уверенно применять формулу (11) СНиП.

Отметим, что в соответствии с вышеперечисленными особенностями площадь поперечного сечения и периметр поперечного сечения следует вычислять с использованием не среднего, а максимального значения диаметра сваи.

Прочностные параметры материала грунтобетонных свай.

Второй вариант расчета связан с определением прочности материала свай. Этот расчет гораздо более важен, так как практический опыт показывает, что в реальных условиях разрушение происходит именно по материалу тела сваи.

Прочностные свойства материала грунтоцементных свай зависят от многочисленных факторов: гранулометрического состава грунта, водоцементного отношения раствора, количества цементного раствора на 1 п.м. сваи, скорости подъема монитора. В таблице 4.1 приведены прочностные характеристики свай по данным зарубежных и отечественных источников.

Необходимо отметить, что в зависимости от технологических параметров прочностные свойства свай даже для одного типа грунта могут изменяться в достаточно широком диапазоне. Так например, при сооружении свай в супесях, снижая водоцементное соотношение рабочего раствора В:Ц от 1.0 до 0.7, можно повысить прочность материала сваи в 1.5-2 раза.

Таблица 4.1 Прочностные характеристики грунтов

Тип грунта	Прочность грунта на сжатие, МПа			
	Литературный источник			
	[7]	[8]	[9]	[10]
Торф	<3,0	<2,0	0,3	-
Глина	<12	1-4	1,8-3,0	2-10
Ил	<12		3,0-4,5	-
Суглинок	3-10	2-9	-	1,5-5
Супесь	5-14		-	3-9
Песок	<15	5-15	6-9	6-12
Гравий	<20		10-30	

Технология позволяет изменять количество цементного раствора на единицу объема грунта в широких пределах, иногда до его полного замещения. В этом случае прочность материала свай не зависимо от типа грунта будет равна прочности отвердевшего цементного раствора. При отборе монолитов из участков тела свай, сформированных при практически полном замещении, установлено, что прочность материала сваи составляет 30-40 МПа.

В общем случае методика проектирования свай состоит в следующем[4]. В процессе проектирования устанавливается минимально возможная прочность материала сваи в соответствии с имеющимся практическим опытом производства свай в аналогичных геологических условиях. Затем на объекте выполняют устройство опытных свай, отбирают образцы грунтобетона с последующим определением его прочности лабораторными или экспресс методами. На основании полученных результатов корректируются технологические параметры устройства свай.

Вторая группа предельных состояний (осадки свай) в связи с чрезвычайно высоким сцеплением сваи с грунтом в расчетах практически не используется. Практикой установлено[4], что при предельной нагрузке

обычно происходит разрушение материала свай. При этом осадки свай не превышают нескольких миллиметров.

Методы исследования грунтоцементных свай.

К методам стоит отнести полевые испытания свай статическими и динамическими нагрузками в соответствии с [11] и моделирование поведения свай.

FEMmodels

Данная программа базируется на методе конечных элементов и позволяет решать трехмерные задачи, задачи расчета основания и надземных конструкций здания с учетом их взаимодействия, позволяя тем самым на практике выполнять требования норм о необходимости совместного расчета. FEM models содержит модели, описывающие работу надземных конструкций здания и сложную нелинейную работу грунта.

GeoPlate 1.0

Программа предназначена для расчета комбинированного свайно-плитного фундамента.

В связи с тем, что на практике осадки фундаментов значительно превышают смещения от изгиба плит, последними смещениями пренебрегают, т.е. в расчете плиту считают абсолютно жесткой. Это допущение при достаточно толстых плитах 600мм и более и небольших их габаритах в плане приводит к незначительным погрешностям расчетов, но существенно упрощает расчетную схему, позволяет отказаться от метода конечных элементов и тем самым оперативно получить необходимые результаты.

Программа позволяет находить расчетное давление в уровне подошвы фундамента, осадки фундамента и продольные усилия в сваях.

При расчете фундамента усиленного сваями можно задать линейные и нелинейные деформационные характеристики свай.

Программа позволяет также поэтапно, с учетом поэтапного устройства свай и изменения нагрузок на фундамент. Программа содержит табличные и визуальные данные для анализа получаемых результатов.

Программа позволяет выполнять расчет комбинированного свайно-плитного фундамента со сваями любого типа – забивные железобетонные, буронабивные, буроинъекционные, грунтоцементные и т.д.

ANSYS

Программный пакет конечноэлементного анализа, решающий задачи в различных областях инженерной деятельности (прочность конструкций, термодинамика, динамика жидкостей и газов, электромагнетизм), включая связанный междисциплинарный анализ.

Это универсальный конечноэлементный программный пакет (разработчиком которого является компания ANSYS Inc.), который позволяет решать в единой пользовательской среде (и, что очень важно, на одной и той же конечноэлементной модели) широкий круг задач в областях:

- прочности;
- тепла;
- гидрогазодинамики;
- электромагнетизма;
- Междисциплинарного связанного анализа, объединяющего все четыре типа;

Оптимизации конструкции на основе всех вышеприведенных типов анализа.

ANSYS обеспечивает двустороннюю связь практически со всеми известными CAD-системами. Это достигается за счет двустороннего обмена геометрией с наиболее популярными пакетами и импорта множества стандартных форматов. Также существуют встраиваемые в CAD-системы расчетные модули ANSYS, позволяющие реализовать преимущества технологии "сквозного проектирования".

Программный комплекс ANSYS сертифицирован согласно серии стандартов ISO 9000, 9001, а также бессрочно аттестован в Госатомнадзоре РФ на проведение расчетов для атомной промышленности.

GeoWall 1.0, 2.0

Данная программа предназначена для расчета на прочность ограждающей конструкции котлована.

Область применения – расчет прочности ограждений, состоящих из одного ряда секущихся, касательных или отдельностоящих свай. Возможен расчет буронабивных свай, армированных арматурным каркасом или грунтоцементных свай, армированных металлической трубой.

Кроме того, программа позволяет рассчитывать ограждение, состоящее из стальных труб большого диаметра.

В постановке задачи о напряженно деформируемом состоянии ограждения из свай приняты следующие допущения:

- учитывается только продольная компонента тензоров деформаций и напряжений;
- бетон (грунтоцемент) не сопротивляется растяжению;
- в расчетном сечении ограждения выполняется гипотеза плоских сечений.

Расчет на прочность выполняется в сечении с максимальной величиной изгибающего момента сил, действующих на ограждение со стороны грунта. Напряжение находится с помощью статического уравнения равновесия сил для систем внешних уравновешенных сил, приложенных к части ограждения протяженностью в плане, равной шагу устройства свай.

Программа позволяет выполнять следующие типы расчетов:

проверочный расчет. Вычисляются коэффициенты запаса прочности в бетоне (грунтоцементе) и армирующей трубе;

подбор необходимой армирующей трубы из условия прочности ограждения.

Программа GeoWall 2.0 отличается тем что предназначена для расчета двухрядного ограждения и позволяет в дополнение к возможностям GeoWall 1.0 подобрать два различных типа труб для армирования первого и второго рядов ограждения из условия минимальной массы и из условия прочности ограждения.

GeoPile 1.0

Программа предназначена для расчета свай, устроенной по технологии с теряемой буровой штангой. За рубежом данная технология известна как технология устройства Titan[12].

Расчетный модуль LR 1.0

Расчетный модуль LR разработан к программе GeoPile с целью расчета продольной жесткости различных типов свай.

Программа разработана на основе метода конечных элементов в осесимметричной постановке, реализующего линейную модель вмещающего массива. В расчетной модели системы сваю грунт учитываются геометрические характеристики сваи – длина и форма продольного сечения, деформационные и прочностные характеристики материала сваи и грунта, модуль упругости и геометрические параметры армирующего элемента. Результаты расчета модуля жесткости достаточно хорошо совпадают с результатами полевых испытаний свай.

Модуль GeoBase 1.0

Представленный модуль предназначен для расчета коэффициента постели упругости основания. Расчетная схема учитывает форму и размеры основания, неоднородность геологического строения грунтовой толщи. Модуль реализует 3D модель линейного неоднородного грунтового массива.

PLAXIS

Программа PLAXIS – это пакет конечных элементов, разработанный специально для анализа деформации и устойчивости геотехнических сооружений. Простая процедура графического ввода позволяет быстро составлять комплексные модели конечных элементов, а выходным

устройствам осуществлять детальное представление результатов расчета. Сам расчет полностью автоматизирован и основан на устойчивых численных методах. Данная концепция позволяет новым пользователям работать с программой всего лишь через несколько часов обучения.

Исследования.

В ходе исследований был решен ряд задач для свай с различными фактурами боковой поверхности (принципиальное изображение представлено на рис.4.4) на статические и динамические нагрузки. Свая рассматривалась как несущий элемент и как элемент вертикального армирования грунта. Нагрузки принимались условные.

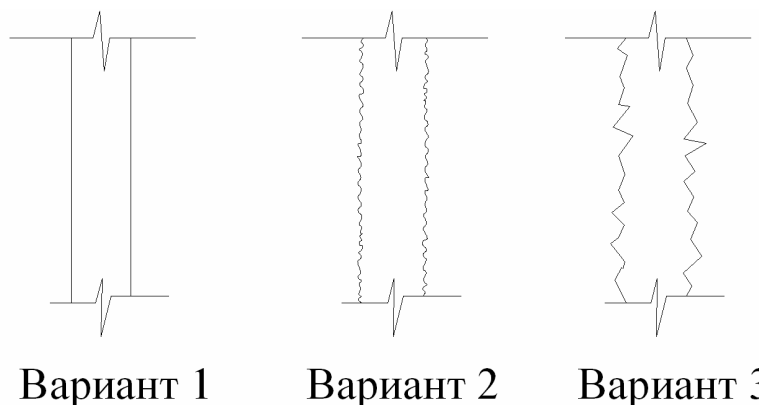


Рис.4.4 Принципиальное изображение рассматриваемых структур боковой поверхности.

На рисунке 4.5 показаны расчетные схемы для случаев свай как несущего элемента и свай как элемента армирования.

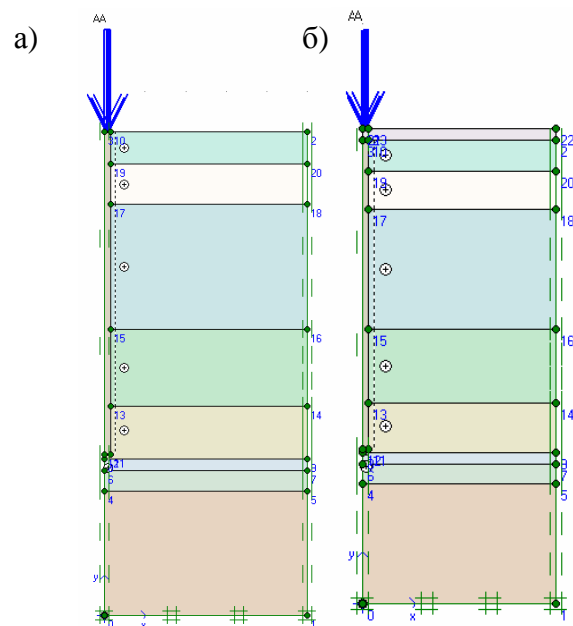


Рис. 4.5 Расчетные схемы а) свая как несущий элемент б) свая как элемент армирования.

В обоих случаях принята осесимметричная модель, физико-механические характеристики грунтов и нагрузки абсолютно идентичны. Граничные условия приняты следующими: боковые грани модели защемлены от перемещений в горизонтальном направлении (так как их удерживает грунт находящийся за пределами модели), нижняя грань защемлена от перемещений во всех направлениях (по той же причине).

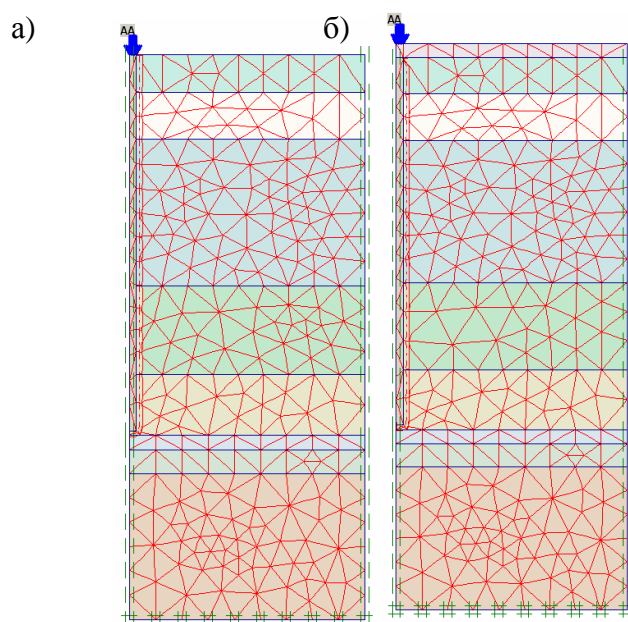


Рис. 4.6 Схемы разбиения на конечные элементы а) свая как несущий элемент б) свая как элемент армирования.

На рисунке 4.6 показаны схемы разбиения на конечные элементы.

В результате расчетов на вертикальную статическую нагрузку были получены результаты представленные на рис 4.7 в форме графиков зависимости нагрузка-осадка для сваи как несущего элемента при статической нагрузке. На графике видно что в зависимости от фактуры боковой поверхности несущая способность сваи изменяется.

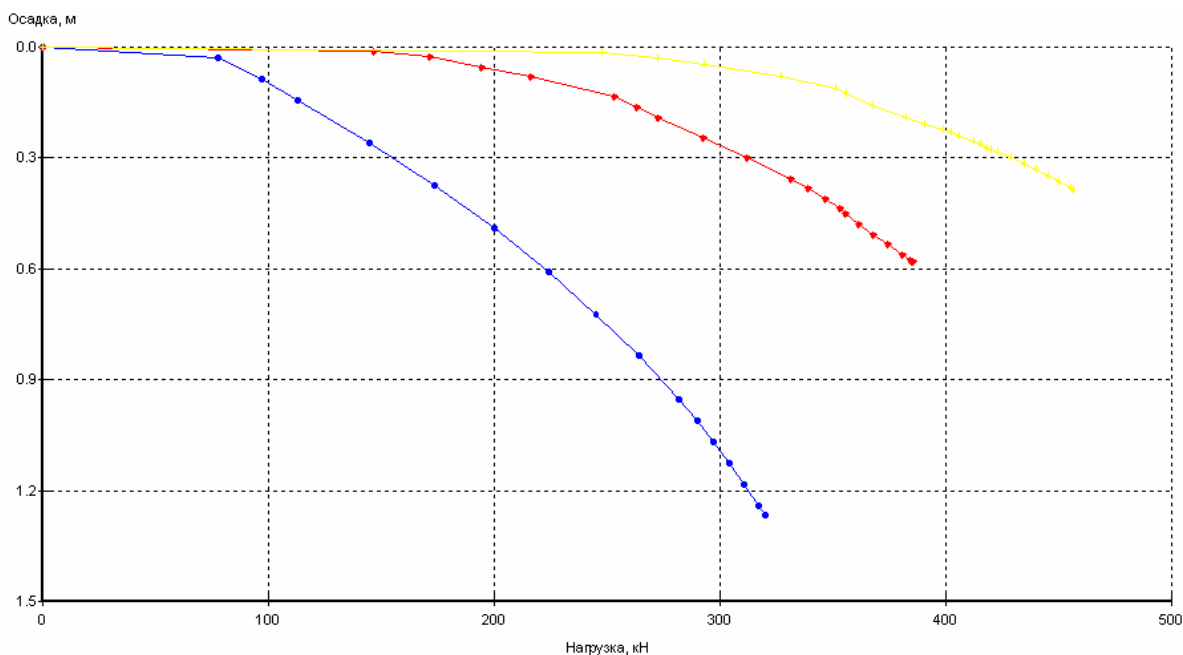


Рис.4.7 График зависимости нагрузка осадка при статическом воздействии

- Свая с фактурой боковой поверхности по варианту 1
- Свая с фактурой боковой поверхности по варианту 2
- Свая с фактурой боковой поверхности по варианту 3

Для случая сваи как армирующего элемента при статической нагрузке графики получаются практически идентичными приведенным на рис.2 за исключением некоторого уплотнения промежуточной подушки. Вместе с тем при динамических воздействиях перемещение сваи которая используется как несущий элемент гораздо больше (рис.4.8). Хотя полные и эффективные напряжения (рис 4.9, 4.10) отличаются не столь существенно.

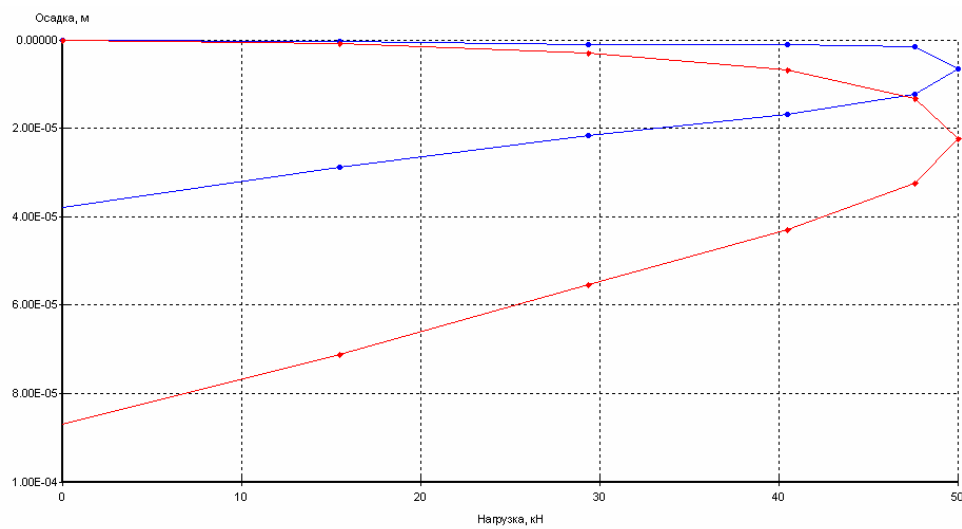


Рис.4.8. График зависимости нагрузка-осадка при динамическом воздействии.

— Свая как несущий элемент
 — Свая с промежуточной подушкой

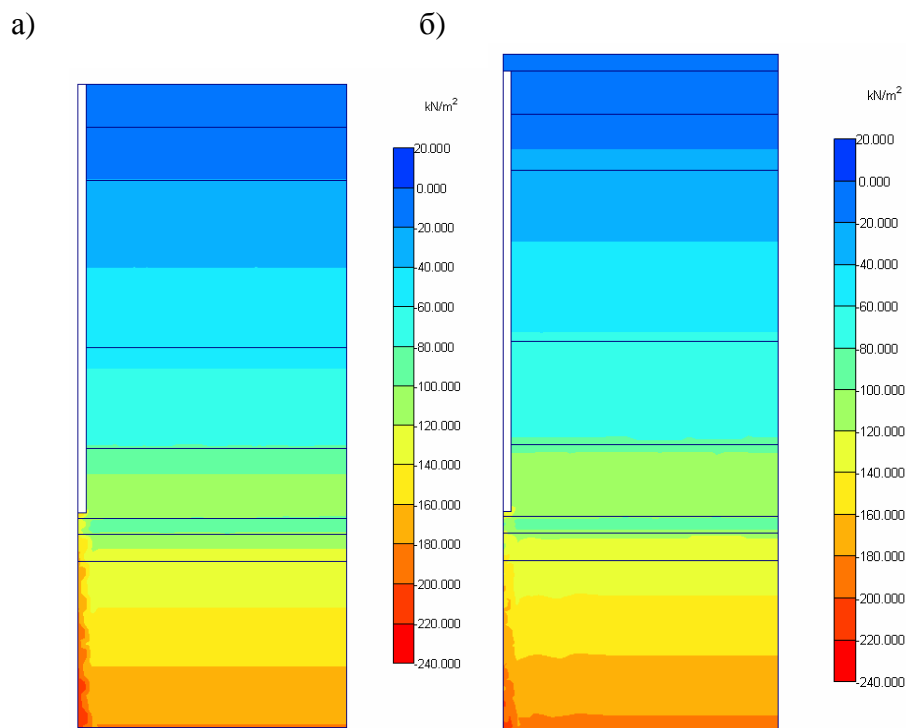


Рис. 4.9 Напряжения а) свая как несущий элемент б) свая как элемент армирования.

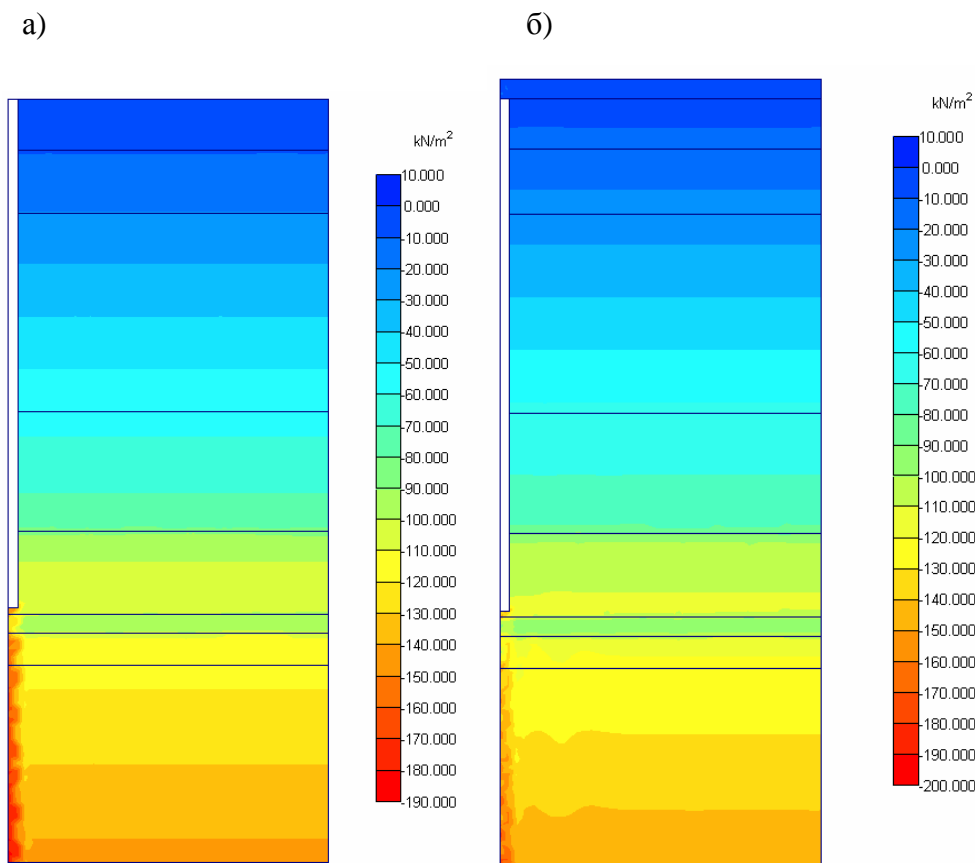


Рис. 4.10 Эффективные напряжения а) свая как несущий элемент б) свая как элемент армирования.

Испытание грунтоцементных свай на горизонтальную статическую нагрузку.

Испытывались сваи диаметром 800мм и глубиной заложения 24м. Грунтовые условия площадки - С поверхности до глубины 4,5-5 м залегает слой мелкого плотного песка, затем слой суглинка мощностью 4,5-5м, который переходит в ил толщиной 10м, под ним залегает слой суглинка толщиной 3,5м, подстилаемый плотной глиной.

До начала испытаний сваи С1 и С2 были откопаны по высоте на 0,5м для приложения горизонтальной силы и замеров перемещений в двух уровнях.

Горизонтальная статическая нагрузка на сваю передавалась гидравлическим домкратом ДГ-50, установленным в горизонтальное положение. Усилия создаваемые домкратом передавались через специально изготовленную инвентарную балку, расположенную на 0,4м ниже поверхности грунта. Загружение свай проводилось согласно [11]. Нагрузка

считалась стабилизированной когда перемещение головы сваи за последний час не превышало 0,1мм, после чего давалась новая ступень нагрузки или производилась полная разгрузка. Перемещение замерялись в двух уровнях: 1- на поверхности грунта и 2 – на 40см ниже его приборами Максимова ПМ-4 с точностью 0,1мм.

Свая С1 имела явный излом на 50 см ниже приложенной нагрузки. По результатам испытаний горизонтальная несущая способность сваи С2 составила 87,5 кН.

Определим отношение нагрузки к соответствующему упругому перемещению сваи на уровне поверхности грунта.

$$C2=H_0/y_0=87.5\text{кН}/1.9\text{мм}=46\cdot 10^3\text{кН/м} \quad (4.2)$$

Коэффициент деформации α_d , по результатам испытаний определяется по формуле

$$\alpha_d = 1,34 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{H_0}{y_0}\right) \cdot \frac{1}{E_d \cdot I}}, \text{ где}$$

$$E_d=1,15 \cdot 10^7 \text{ кН/м}^2$$

$$I = \pi \frac{d^4}{64} = \frac{3.14 \cdot 0.8^4}{64} = 0.02 \text{ м}^4$$

$$\alpha_d = 1,34 \cdot \sqrt[3]{\frac{46000}{1,15 \cdot 10^7 \cdot 0,02}} = 0,783 \frac{1}{\text{м}}$$

Согласно [13] определим коэффициент пропорциональности.

$$K = \frac{\alpha_d^5 \cdot E_d \cdot I}{b_{cp}} = 3,98 \cdot 10^4 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}$$

где b_{cp} – условная ширина сваи

$$b_{cp} = 1,5d+0,5\text{м}=1,7\text{м}.$$

Определим вертикальную несущую способность сваи.

$$F=\pi r^2=3.14 \cdot 0.42=0.5 \text{ м}^2;$$

$$U=\pi d=3.14 \cdot 0.8=2.5 \text{ м}.$$

$$M=1; \quad m_r=1; \quad m_f=0.7.$$

$$R=600\text{кН/м}^2; \quad f_1=33\text{кН/м}^2; \quad f_1=10\text{кН/м}^2;$$

$$\Phi = 1(1 \cdot 600 \cdot 0,5 + 2,5 \cdot 0,7(5 \cdot 33 + 5 \cdot 10)) = 676 \text{ кН}.$$

Определим вертикальную несущую способность сваи с учетом сейсмического воздействия по формуле 127 [13].

$$\Phi_c^p = m[m_c \bullet m_{rc} \bullet m_r \bullet R \bullet F + U \sum_{h_p}^l m_{ci} m_f f_i l_i] \quad , \text{ где}$$

$$m_c = 0.85; m_{ci} = 0.8.$$

$$m_{rc} = 1 - \frac{H \bullet b}{d \bullet l} = 1 - \frac{4 \bullet 0.01}{0.8 \bullet 0.783 \bullet 10} = 1 - 0.01 = 0.99$$

$h_p = 4/\alpha d = 4/0.783 = 5 \text{ м}$ расчетная глубина, до которой не учитывается сопротивление по боку.

$$\Phi_c = 1[0.85 \cdot 0.99 \cdot 1 \cdot 600 \cdot 0.5 + 2.5 \cdot 0.7 \cdot 0.8 \cdot 5 \cdot 10] = 322.5 \text{ кН}.$$

Расчетная нагрузка допускаемая на сваю:

$$P = \Phi / K_n = 676 / 1,4 = 482,9 \text{ кН}$$

Расчетная нагрузка допускаемая на сваю при сейсмическом воздействии:

$$P_{cp} = \Phi_{cp} / K_n = 322,5 / 1,4 = 230,4 \text{ кН}.$$

Из вышеприведенных расчетов следует, что вертикальная статическая нагрузка передаваемая на сваю от основного сочетания нагрузок не должна превышать 480 кН, а при особом сочетании нагрузок не должна превышать 230 кН.

Теперь смоделируем данную ситуацию с помощью метода конечных элементов. Для этого примем модель длиной 20 м и высотой 28 м. Расчетная схема представлена на рис.4.11, сеть конечных элементов представлена на рис.4.12.

Принятые граничные условия: боковые грани модели зашлемлены от перемещений в горизонтальном направлении (так как их удерживает грунт находящийся за пределами модели), нижняя грань зашлемлена от перемещений во всех направлениях (по той же причине).

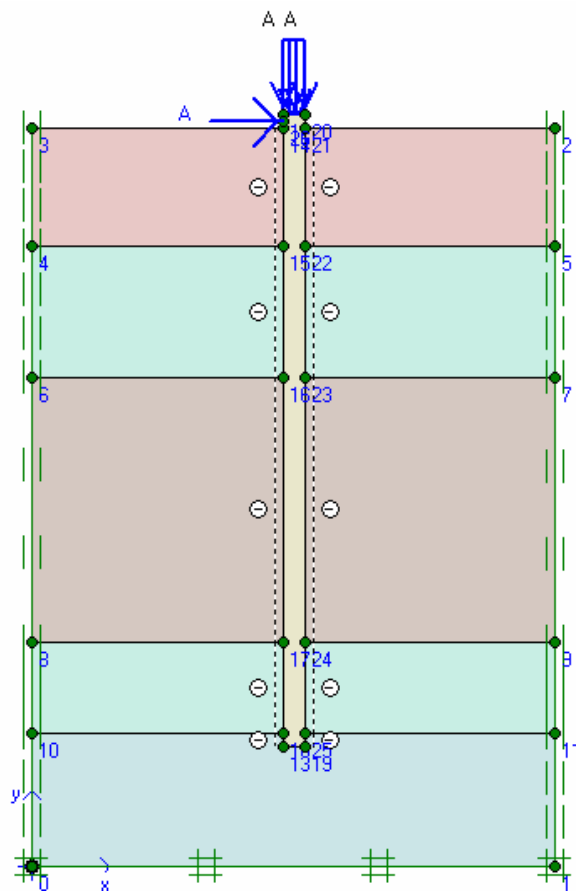


Рис. 4.11 Расчетная схема

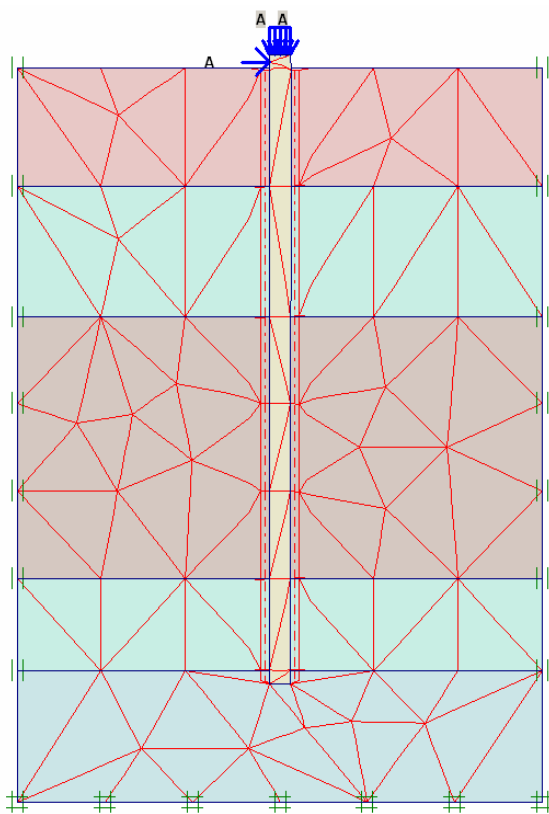


Рис. 4.12 Схемы разбиения на конечные элементы

По результатам расчета только на действие горизонтальной нагрузки напряжения и деформации в массиве грунта выглядят как показано на рис.4.13, 4.14.

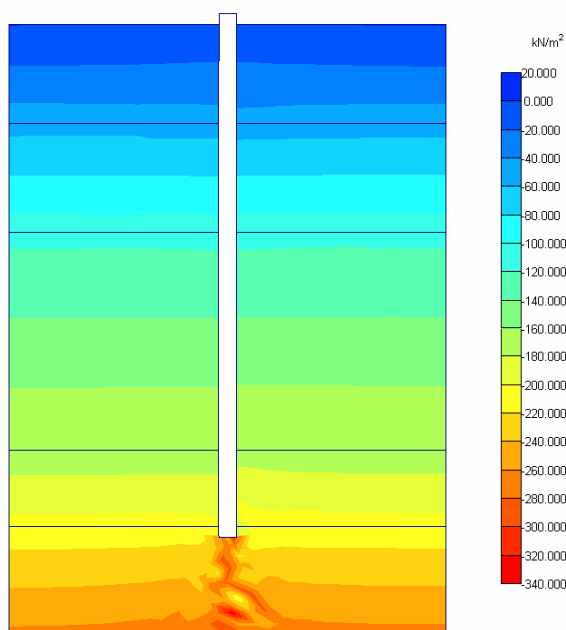


Рис.4.13 Напряжение в массиве грунта под действием горизонтальной нагрузки

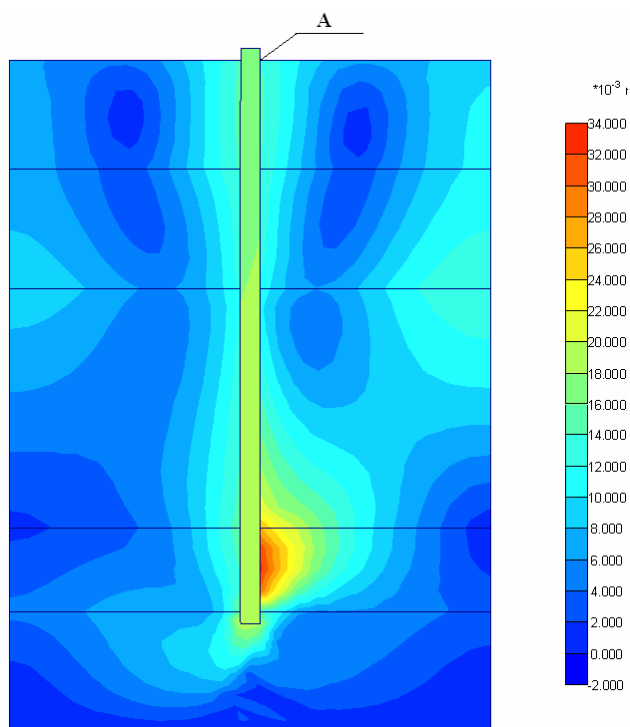


Рис.4.14 Деформации массива грунта под действием горизонтальной нагрузки

В таблице 4.2 приведено сравнение данных полученных при испытаниях и при расчете методом конечных элементов.

Таблица 4.2 Сравнение параметров

Параметр	Ед.изм.	Испытания	Расчет
Несущая способность при горизонтальной нагрузке	кН	87,5	80,6
Деформация в точке А	мм	1,9	1,8

Как видно из таблицы расчет методом конечных элементов дает достаточно близкие к реальным результаты.

По результатам расчета только на действие вертикальной нагрузки напряжения и деформации в массиве грунта выглядят как показано на рис.4.15, 4.16.

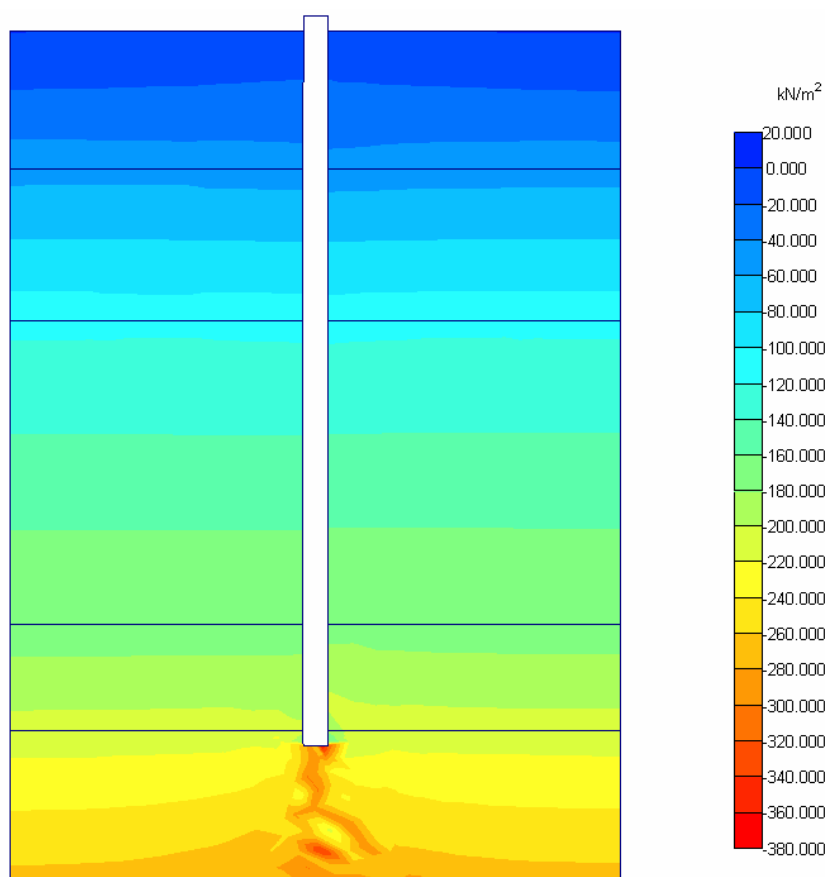


Рис.4.15 Напряжение в массиве грунта под действием вертикальной нагрузки.

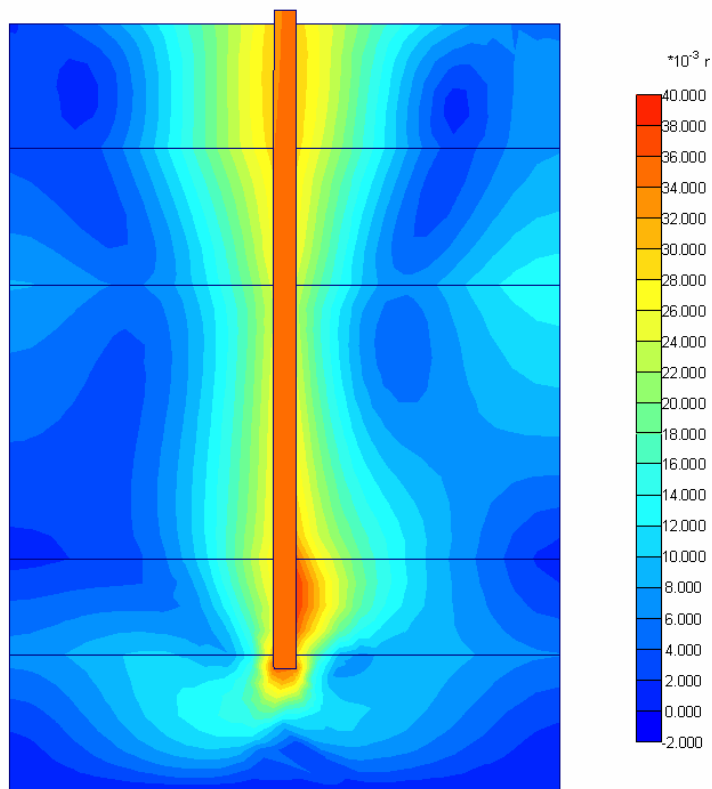


Рис.4.16 Деформации массива грунта под действием вертикальной нагрузки

$$\Phi = 717,37 \text{ кН}$$

$$P = \Phi / K_H = 717,37 / 1,4 = 512,4 \text{ кН.}$$

При действии одновременно вертикальной и горизонтальной нагрузок напряжения и деформации в массиве грунта выглядят как показано на рис.4.17, 4.18.

$$\Phi_{\text{ср}} = 344,8$$

$$P_{\text{ср}} = \Phi_{\text{ср}} / K_H = 344,8 / 1,4 = 246,2 \text{ кН.}$$

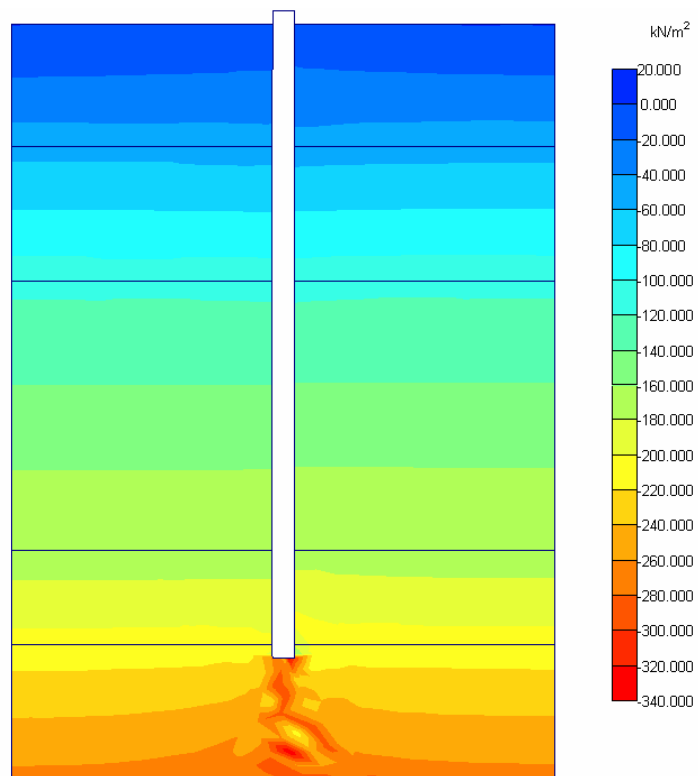


Рис.4.17 Напряжение в массиве грунта под действием вертикальной и горизонтальной нагрузок.

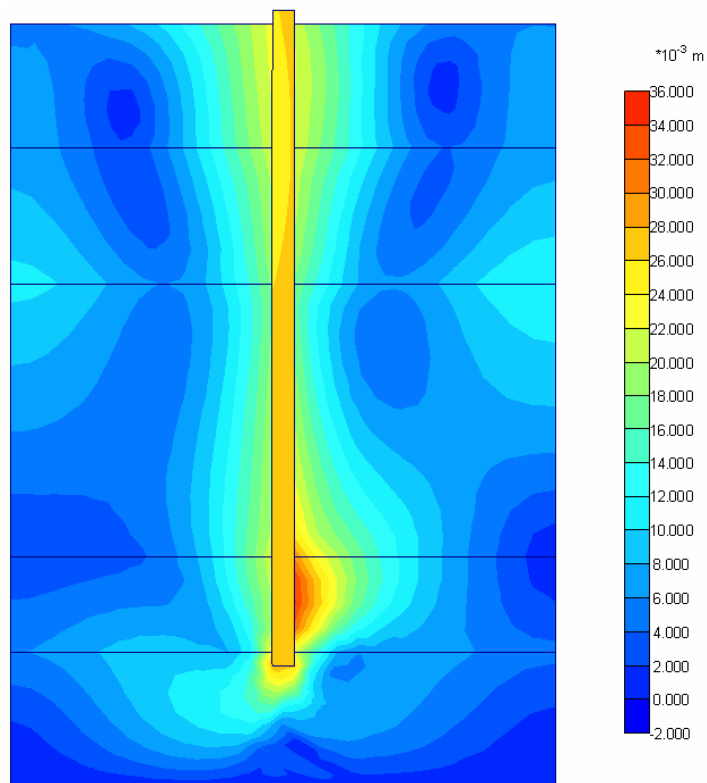


Рис.4.18 Деформации массива грунта под действием вертикальной и горизонтальной нагрузок.

Выводы.

Исходя из вышеприведенных исследований можно сделать вывод о том, что шероховатость поверхности увеличивает несущую способность.

Также, очевидно, что расчет методом конечных элементов дает результат достаточно близкий к реальному.

Из вышеперечисленных программных продуктов наиболее приемлемым для решения поставленной задачи является ANSYS, но ввиду дороговизны и необходимости больших компьютерных возможностей для его работы, в дальнейших исследованиях будут использоваться Plaxis и FEMmodels.

ЛИТЕРАТУРА

- 1.Токин А.Н. Фундаменты из цементогрунта. - М: Стройиздат, 1984.
- 2.Ручьев А.П., Толкачев П.И. Телина Л.Н., Тарасов М.В. Устройство грунтобетонных свай.- М: Стройизда, 1968
- 3.№ 663779 (СССР) / Способ изготовления цементогрунтовых свай. Токин А.Н., Мотузов Я.Я., Ветштейн А.И. 14/1У-1981 г. № 3279827/29-33(057073)
- 4.Малинин А.Г. Применение грунтоцементных свай в городском строительстве. Пермские строительные ведомости 2001 №4. <http://www.jet-grouting.ru/publicat.html>
- 5.СНиП2.02.03 85 «Свайные фундаменты».
- 6.Малинин А.Г. Применение струйной цементации в подземном строительстве. Подземное пространство мира, 2000, № 2.
- 7.Kristian Kutzner. Grouting of rock and soil. A.A.Balkema, 1996
- 8.Angelo L. Carassino. Design Procedures for Jet-grouting. Seminar of jet-grouting, Singapore,1997
- 9.Cesare Melegari. Introduction to the jet-grouting method. Seminar of jet-grouting, Singapore,1997
- 10.Богов С.Г. Исследование прочностных свойств грунтов, закрепленных цементными растворами по струйной технологии. Некоторый опыт строительства на слабых грунтах. Реконструкция городов и геотехническое строительство, 2000, №2
- 11.ГОСТ 5686-94 «Грунты. Методы полевых испытаний сваями»
- 12.Малинин А.Г. Малинин П.А. Экономичные свайные фундаменты для малоэтажного строительства. Пермские строительные ведомости, 2006, №11
- 13.Руководство по проектированию свайных фундаментов. М:1980
- 14.PLAXIS Tutorial manual.